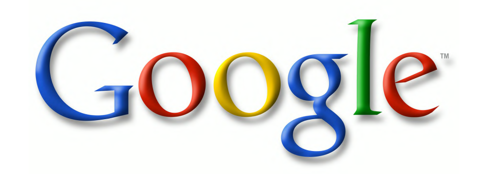
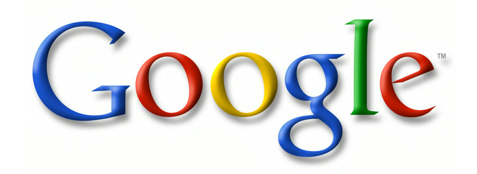
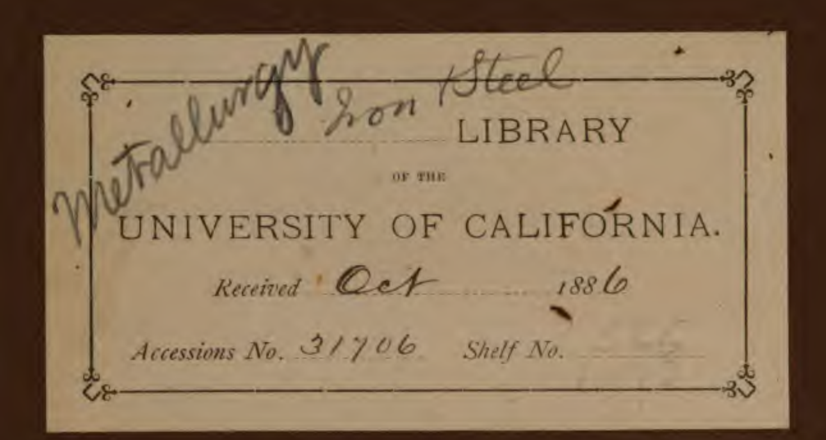


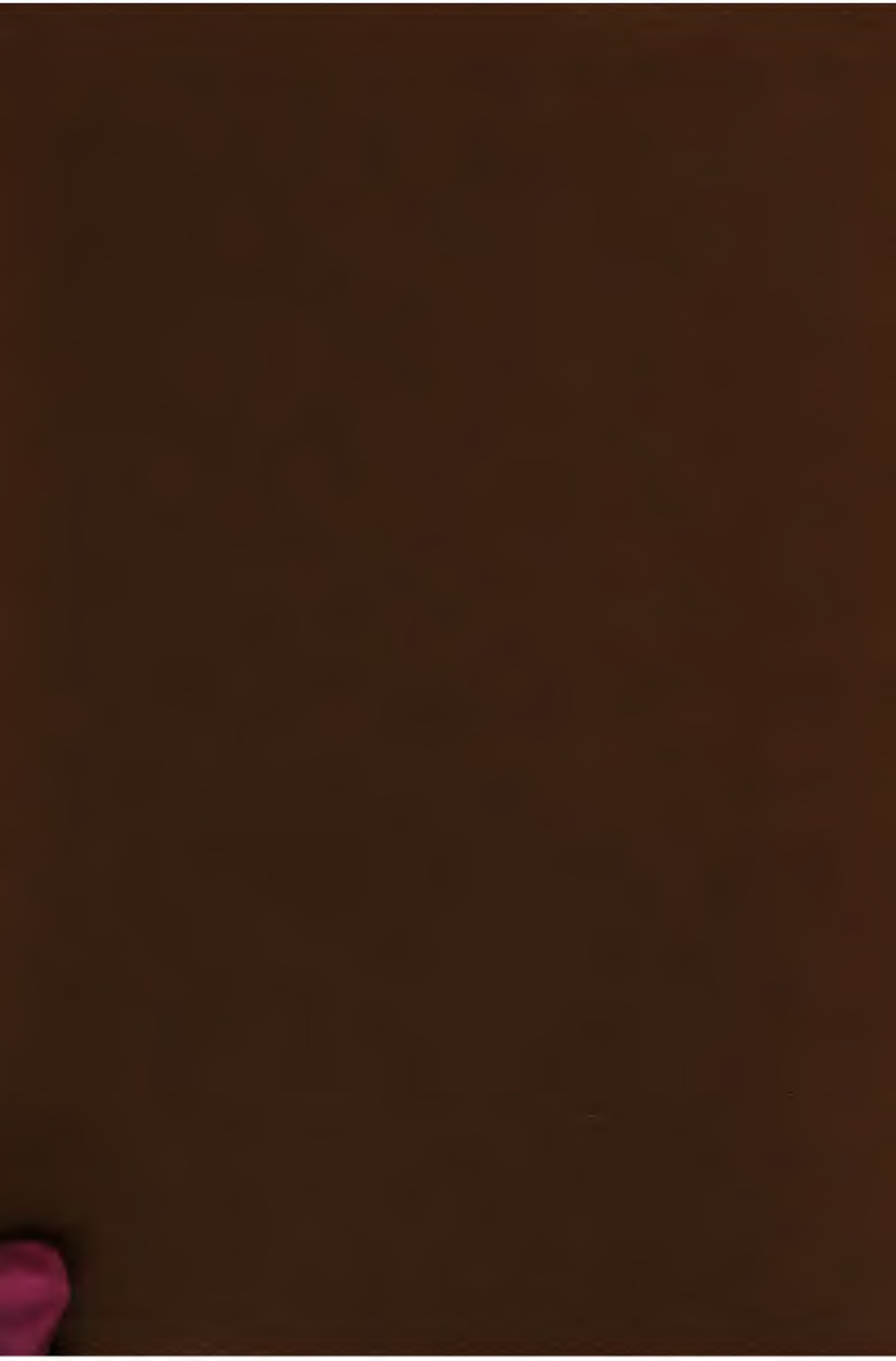












HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IN DER PRAXIS WIE ZUR BENUTZUNG BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET.

VON

A. LEDEBUR,

PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

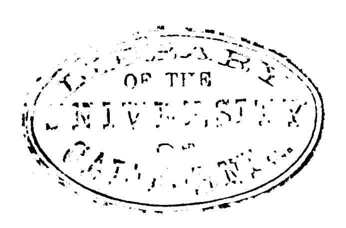
MIT 305 ABBILDUNGEN.



LEIPZIG.

VERLAG VON ARTHUR FELIX.

1884.



Vorwort.

Das Ziel, welches mir bei der Bearbeitung des nachfolgenden Handbuches der Eisenhüttenkunde vorschwebte, war, ein Buch zu schaffen, welches vom Standpunkte des Metallurgen dem Leser ein möglichst deutliches Bild von dem Verlaufe und den Eigenthümlichkeiten der verschiedenen für die Eisendarstellung dienenden Processe, den Hilfsmitteln zur Durchführung derselben und den Eigenschaften der durch jene Processe gewonnenen Eisensorten zu liefern bestimmt sei.

Zur Erreichung eines solchen Zieles ist zwar eine sorgfältige Berücksichtigung der Literatur über Eisenhüttenwesen unerlässlich; andererseits aber bin ich bemüht gewesen, das Buch nicht mit dem Ballaste eines allzu umfänglichen Eingehens auf fremde Literaturerzeugnisse zu beschweren. Abhandlungen, welche in einer Zeitschrift das volle Interesse des Lesers beanspruchen können, wirken ermüdend, wenn sie, wie es allerdings vielfach geschieht, in einem Handbuche ihrem vollen Umfange und Wortlaute nach vorgeführt werden. Nur der wesentlichste Theil ihres Inhaltes sollte für diesen Zweck benutzt werden.

Hinsichtlich der Anordnung des Stoffes bin ich insoweit einem schon vor mir vielfach betretenen Pfade gefolgt, als ich das ganze Buch in drei Hauptabschnitte zerlegte: einen allgemeinen einleitenden Theil, alsdann die Darstellung des Roheisens und endlich die des schmiedbaren Eisens. Die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen ist so scharf gezogen, das für die Roheisendarstellung benutzte Ver-

fahren, der Hochofenbetrieb, steht so selbstständig da, dass wohl kaum ein anderer Weg zweckmässiger erscheinen kann.

Weniger leicht war die Frage nach der geeignetsten Eintheilung der genannten drei Hauptabschnitte, ganz besonders der Lehre von der Darstellung des schmiedbaren Eisens, in Unterabtheilungen zu erledigen.

Bis zur Mitte dieses Jahrhunderts pflegte man die Metallurgie des kohlenstoffreicheren Stahles von der des kohlenstoffärmeren Schmiedeeisens zu trennen. Die Härtbarkeit des Stahles bildete das wesentliche Unterscheidungsmerkmal beider Eisengattungen. Durch die Einführung neuerer hochwichtiger Processe in das Eisenhüttengewerbe ist aber die Grenze zwischen Stahl und Schmiedeeisen undeutlich geworden; es ist bekannt, dass man heutzutage mit der Bezeichnung Stahl keineswegs immer den nämlichen Begriff verbindet.

Mehrfach wurde deshalb seit jener Zeit die chemische Eigenthümlichkeit der verschiedenen für die Darstellung schmiedbaren Eisens dienenden Processe als Mittel für die Eintheilung des ganzen Gebietes gewählt. Man unterschied Reductionsprocesse (Rennarbeiten), Frischprocesse, Kohlungsprocesse, Reinigungsprocesse.

Eine solche Eintheilung, so zweckmässig sie im ersten Augenblicke vielleicht erscheinen mag, erweist sich indess, wenn man die Processe eingehender prüft, als wenig zuverlässig und als noch weniger übersichtlich. Bei dem Martinprocesse mit Erzen wie auch bei der selteneren Darstellung des Uchatius-Gussstahles gehen die Oxydation der Kohle, des Siliciums, Mangans und die Reduction metallischen Eisens Hand in Hand. Beim Bessemern wie beim Martiniren findet anfänglich reichliche Verbrennung von Silicium, Mangan, Kohlenstoff statt; sie sind also in dem ersten Theile ihres Verlaufes wirkliche Frischprocesse. Später aber wird eine kohlenstoff- und manganhaltige Legirung zugesetzt, Eisenoxydul wird reducirt, Kohlenstoff und Mangan werden zugeführt; aus dem Frischprocesse ist ein Reductions- und Kohlungsprocess geworden. Wollte man also folgerecht verfahren, so müsste man den Martinprocess und das Tiegelschmelzen, je nachdem man mit oder ohne Erzen arbeitet, in ganz verschiedenen Abschnitten des Buches besprechen, ja, auch den Anfang und das Ende des Bessemer- und Martinprocesses bei der Besprechung von einander trennen.

Verarbeitet man aber im Martinofen Schweisseisen, so ist der Process nicht minder als die Tiegelgussstahldarstellung ein Reinigungsverfahren, bei welchem Schlacke ausgeschieden wird, und er hat volle Berechtigung, neben dem Tiegelschmelzen an einer dritten Stelle des Buches zu erscheinen. Die ganze Anordnung des Stoffes wird solcherart schwerfällig; man gelangt zu einer grossen Zahl scheinbar verschiedener Processe, und dem Anfänger wird es schwer, eine klare Uebersicht zu gewinnen.

Um einen kürzeren Weg einzuschlagen, wählte ich daher wie bei der ersten Eintheilung des gesammten Gebietes die Beschaffenheit der Fertigerzeugnisse als Ausgangspunkt für die Besprechung. Streng gesondert ist alles Schweisseisen vom Flusseisen; an diese beiden Hauptgruppen alles schmiedbaren Eisens reihen sich das durch Glühen unter oxydirenden Einflüssen gewonnene Eisen, das Tempereisen, und endlich der Cementstahl. Nicht minder scharf als die genannten Eisengruppen selbst unterscheiden sich die Processe und die Oefen für ihre Darstellung von einander; alle zu einer Eisengruppe gehörigen Arten aber besitzen gewisse Eigenthümlichkeiten, die sich vor der Besprechung der einzelnen Darstellungsmethoden gemeinschaftlich erörtern lassen. Ich brauche zur Bestätigung hierfür nur an den Schlackengehalt alles Schweisseisens, an das Verhalten alles Flusseisens beim Giessen zu erinnern.

Auf diese Weise wird die Zahl der zu besprechenden Processe geringer und die Uebersicht nicht wenig erleichtert.

Wo ich die Bezeichnung Stahl angewendet habe, ist nur das deutlich härtbare Eisen, es möge Schweisseisen oder Flusseisen sein, darunter verstanden. Die Berechtigung dieser Auslegung ist in der Literatur bereits so vielfach erörtert worden, dass es keiner besonderen Begründung derselben an dieser Stelle bedarf. Hervorragende Metallurgen auch derjenigen Völker, welche in der Jetztzeit die Worte *steel*, *acier* in anderem Sinne gebrauchen, haben doch die grössere Zuverlässigkeit der deutschen Auslegung anerkannt.

Mehrfach sah ich mich veranlasst, in dem theoretischen Theile meines Handbuches von den Ueberlieferungen einer älteren Schule abzuweichen, wo mir dieselben einer vorurtheilsfreien Erwägung und den Fortschritten der Wissenschaft gegenüber als nicht mehr haltbar

erschienen. Nirgend aber habe ich neue Theorien aufzustellen versucht, ohne zugleich die Gründe zu entwickeln, welche mich zu denselben führten, sei es durch den Hinweis auf schon bekannte, aber nicht genügend beachtete, Naturgesetze, sei es durch Mittheilung der Ergebnisse zuverlässiger Versuche über den betreffenden Gegenstand. Nicht selten war ich selbst im Laufe der Jahre in der glücklichen Lage, durch eigene Versuche mir Aufklärung zu verschaffen, wenn ich Zweifel über die Ursachen dieser oder jener Erscheinung hegte; vielfach auch bin ich in meinem Bestreben durch befreundete Eisenwerke und Fachgenossen unterstützt worden. Ihnen sei an dieser Stelle mein aufrichtiger Dank ausgesprochen.

Freiberg in Sachsen, im April 1884.

A. Ledebur.

Inhaltsverzeichniss.

Erste Abtheilung.

Einführung in die Eisenhüttenkunde.

Zweite Abtheilung.

Das Roheisen und seine Darstellung.

Dritte Abtheilung.

Das schmiedbare Eisen und seine Darstellung.

Verzeichniss der Abbildungen.

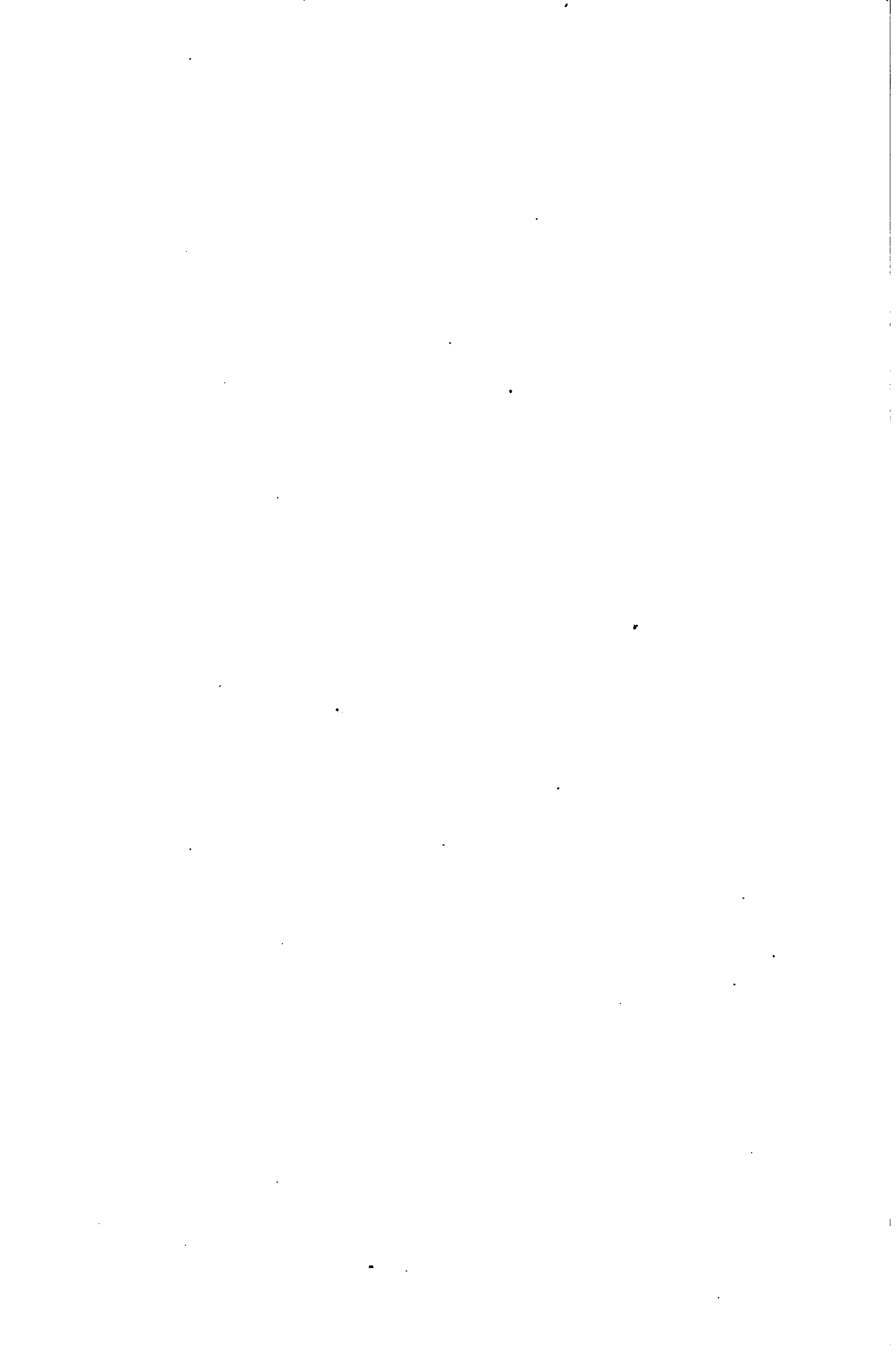
Die Ziffern an der linken Seite des Textes geben die Nummern der Figuren, die Ziffern an der rechten Seite die Seitenzahl an.

ERSTE ABTHEILUNG.

EINFÜHRUNG

IN DIE

EISENHÜTTENKUNDE.





I. Eintheilung des Handelseisens, Historisches und Statistisches.

Alles technisch dargestellte und in den Handel gebrachte Eisen enthält kleinere oder grössere Mengen fremder Körper, welche demselben theils absichtlich, theils unabsichtlich bei der Darstellung zugeführt wurden und seine Eigenschaften beeinflussen. Der wichtigste dieser fremden Körper, welcher, wenn auch bisweilen nur in sehr kleinen Mengen auftretend, doch in jedem Handelseisen sich findet, ist der Kohlenstoff; andere häufige Begleiter des Eisens sind Silicium, Phosphor, Schwefel, Mangan, Kupfer; weniger wichtig, obschon in kleinen Mengen fast immer nachweisbar, sind Kobalt und Nickel; mitunter finden sich Arsen, Chrom und einige andere Körper.

Eisensorten mit abweichendem Gehalte an diesen fremden Körpern zeigen oft stärkere Abweichungen in ihrem Aeussern und ihren sonstigen Eigenschaften als manche ganz verschiedene Metalle; und man trennt demnach zunächst das gesammte Handelseisen in zwei grosse Gruppen: **Roheisen** mit einer reichlicheren Menge jener fremden Bestandtheile und **schmiedbares Eisen** mit einer geringeren Menge derselben. Die physikalischen Unterschiede der beiden Eisengattungen beruhen vornehmlich auf der Verschiedenheit ihrer Schmelztemperaturen und ihres Verhaltens im stark erhitzten Zustande. Roheisen schmilzt leichter, d. h. in niedrigerer Temperatur und mit weniger Aufwand von Wärme, als schmiedbares Eisen; geht, ohne zu erweichen, **rasch** aus dem festen in den flüssigen Zustand über, wenn die Schmelztemperatur erreicht ist und umgekehrt, ist aber eben dieser letzteren Eigenschaft halber nicht schmiedbar, d. h. es erträgt, ohne geschmolzen zu werden, auch im erhitzten Zustande keine Aenderungen seiner Form durch Einwirkung äusserer Kräfte, sondern es zerbricht; schmiedbares Eisen lässt sich, wie der Name besagt, schmieden, indem es bei der Erhitzung vor dem Schmelzen **allmählich** erweicht, ja es besitzt häufig auch im kalten Zustande einen hohen Grad von Dehnbarkeit; aber sein Schmelzpunkt liegt höher als der des Roheisens und steigt im Allgemeinen mit der Abnahme seiner fremden Bestandtheile.

Sofern neben Kohlenstoff keine erheblichen Mengen von fremden Körpern im Eisen zugegen sind, liegt die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 2.3 Proc.; finden sich neben Kohlenstoff aber andere Körper, insbesondere Metalloide (Silicium, Phosphor, Schwefel), im Eisen vor, so beeinträchtigen dieselben die Schmiedbarkeit ebenfalls, das Eisen verliert schon bei einem entsprechend niedrigeren Kohlenstoffgehalte seine Schmiedbarkeit und nimmt den Roheisencharakter an.

Beide Eisengattungen zerfallen nun zunächst wieder in mehrere Klassen.

Manche Roheisensorten besitzen infolge später zu erörternder Ursachen die Eigenthümlichkeit, beim Erstarren und im glühenden Zustande ihren Kohlenstoff zum grossen Theile als selbstständigen Körper in Form von Graphit auszuscheiden, so dass derselbe zwischen den Krystallflächen sich einlagert, der Bruchfläche des Roheisens eine graue Farbe ertheilend, und dieses heisst alsdann graues Roheisen; bei anderen Roheisensorten verharrt der Kohlenstoffgehalt auch nach dem Erstarren im sogenannten „gebundenen" Zustande, d. h. als ein dem Auge nicht ohne chemische Zerlegung des Roheisens erkennbarer, auf mechanischem Wege nicht von demselben trennbarer Bestandtheil des Roheisens, letzteres besitzt auf der Bruchfläche weisse Farbe und wird demzufolge weisses Roheisen genannt. In noch anderen Fällen stellt der Eisenhüttenmann für gewisse Zwecke seines Betriebes kohlenstoffhaltige Legirungen zwischen Eisen und Mangan dar, welche zwar in ihrem Aussehen und ihren Eigenschaften dem weissen Roheisen ähnlich sind, ihres hohen Mangangehaltes aber, der mitunter mehr als 80 Proc. beträgt, nicht dem Roheisen im eigentlichen Sinne zugezählt werden können und die man Ferromangane oder bei hohem Mangangehalte auch wohl Rohmangane zu benennen pflegt. Die Schmelztemperatur dieser Legirungen liegt um so höher, je reicher sie an Mangan sind; mit allen Roheisensorten aber haben sie die Eigenschaft gemein, nicht allmählich, sondern plötzlich ihren Aggregatzustand zu ändern.

Ist das Roheisen — insbesondere das graue Roheisen — durch Eingiessen in Formen zu Gebrauchsgegenständen verarbeitet (Oefen, Säulen, Gitter, Röhren u. s. w. u. s. w.), so pflegt es als Material dieser Gegenstände Gusseisen genannt zu werden.[1])

Die an fremden Körpern, insbesondere an Kohlenstoff, reicheren Sorten des schmiedbaren Eisens besitzen die Eigenschaft der Härtbarkeit, d. h. sie zeigen, wenn sie auf etwa 500° C. erhitzt und dann rasch abgekühlt werden (durch Eintauchen in Wasser, Oel oder dergl.), eine beträchtliche Steigerung ihrer Härte, während die Härte der kohlenstoffärmeren Sorten durch diese Behandlung kaum merklich geändert wird. Die Grenze liegt, sofern der Gehalt des Eisens an fremden

1) Man spricht von gusseisernen Oefen, Säulen u. s. w. Die Bezeichnung als Gusseisen bleibt jedoch nur so lange gültig, als jene Gegenstände auch wirklich als Gebrauchsgegenstände zu dienen bestimmt sind. Werden sie infolge Zerbrechens oder aus anderen Ursachen dieser Bestimmung entzogen und zur Wiederverarbeitung bestimmt, so werden sie aufs Neue zu Roheisen, welches man in diesem Falle wohl Brucheisen oder Alteisen nennt, um die bereits stattgehabte Verwendung anzudeuten.

Körpern neben Kohlenstoff nicht beträchtlich ist, bei etwa 0.6 Proc. Kohlenstoffgehalt, erniedrigt sich aber, wenn neben Kohle andere Körper, insbesondere Mangan, Chrom, Silicium in grösseren Mengen zugegen sind. Jene Eigenschaft der Härtbarkeit theilt das gesammte schmiedbare Eisen in zwei Klassen und zwar in: Stahl, kohlenstoffreicher, härtbar, und Schmiedeeisen, kohlenstoffärmer, nicht härtbar.

Manche Sorten schmiedbaren Eisens erfolgen bei ihrer Darstellung in einem teigartigen Zustande, sind dabei von Schlacke durchsetzt und erfordern, um wenigstens so viel als möglich von dieser befreit zu werden, einer ausgedehnten mechanischen Bearbeitung in Schweisshitze, d. h. in derjenigen, nicht sehr weit unterhalb des Schmelzpunktes liegenden Temperatur, in welcher das schmiedbare Eisen einen weichen, bildsamen Zustand annimmt, und getrennte Eisenstäbe sich unter Anwendung eines Druckes oder von Hammerschlägen zu einem Ganzen vereinigen lassen (schweissen), während die eingeschlossenen Schlackentheilchen durch dieselbe mechanische Einwirkung wenigstens theilweise aus dem Eisen herausgequetscht werden. Solches Eisen heisst Schweisseisen beziehentlich Schweissstahl. Andere Sorten dagegen erfolgen im flüssigen Zustande; eine Einmengung von Schlacke ist hierdurch ausgeschlossen, da die flüssige, specifisch leichtere Schlacke sich rasch von dem flüssigen Eisen sondert, und eine grössere Gleichmässigkeit der Eisenstäbe innerhalb desselben Querschnitts ist eine andere Folge jenes flüssigen Anfangszustandes. Man nennt diese Eisensorten Flusseisen (auch wohl Homogeneisen wegen jener grösseren Gleichförmigkeit) beziehentlich Flussstahl.[1])

Folgende Tabelle lässt die besprochene Eintheilung des Handelseisens übersichtlicher erkennen.

I. Roheisen.

Nicht schmiedbar, beim Erhitzen plötzlich schmelzend. Gehalt an Kohlenstoff (Silicium, Phosphor u. s. w.) mindestens 2.3 Proc.

1. Graues Roheisen.	2. Weisses Roheisen.	3. Ferromangane.
Der grösste Theil des Kohlenstoffs wird beim Erkalten graphitisch ausgeschieden. Farbe der Bruchfläche grau. In der Giesserei zu Gusswaaren verarbeitet heisst das graue Roheisen Gusseisen.	Der grösste Theil des Kohlenstoffs bleibt gebunden. Farbe der Bruchfläche weiss. Härter, spröder als graues Roheisen.	Kohlenstoffhaltige Eisenmanganlegirungen mit reichem Mangangehalte. Der grösste Theil des Kohlenstoffs bleibt gebunden. Farbe der Bruchfläche weiss oder gelblich.

1) Diese in Deutschland officiell eingeführte Eintheilung des schmiedbaren Eisens einerseits in Stahl und Schmiedeeisen gemäss der Härtbarkeit, andererseits in Schweisseisen und Flusseisen gemäss des ursprünglichen Aggregatzustandes, wie sie bei Gelegenheit der Weltausstellung in Philadelphia im Jahre 1876 von einer internationalen Commission bedeutender Metallurgen vereinbart wurde, ist leider im Sprachgebrauche der Praxis, besonders in ausserdeutschen Ländern, nicht überall heimisch. In England und Nordamerika z. B. nennt man ziemlich regelmässig alles im flüssigen Zustande erfolgte Eisen „Stahl", gleichviel, ob es härtbar ist oder nicht, und unterscheidet unter den hierher gehörigen Sorten höchstens „harten" und „weichen" (nicht härtbaren) Stahl; jeder Schweissstahl aber heisst ausserdem Stahl. Der Grund hierfür ist

II. Schmiedbares Eisen.

Schmiedbar, beim Erhitzen allmählich erweichend. Gehalt an Kohlenstoff weniger als 2.3 Proc.

1. Stahl.		2. Schmiedeeisen.	
Gehalt an Kohlenstoff (Silicium, Mangan) ca. 0.6 Proc. oder darüber. Härtbar.		Gehalt an Kohlenstoff (Silicium, Mangan) weniger als 0.6 Proc. Nicht deutlich härtbar.	
a. Schweissstahl.	b. Flussstahl.	a. Schweisseisen.	b. Flusseisen.
Im nichtflüssigen Zustande erfolgt. Schlackenhaltig.	Im flüssig. Zustande erfolgt. Schlackenfrei.	Im nichtflüssigen Zustande erfolgt. Schlackenhaltig.	Im flüssig. Zustande erfolgt. Schlackenfrei.

Die Anfänge der Eisendarstellung sind dunkel und reichen bei den meisten Völkern bis in die vorhistorische Zeit hinauf. Entgegen einer bis vor wenigen Jahrzehnten allgemein verbreiteten, jetzt noch vielfach herrschenden Annahme, dass der Bekanntschaft mit dem Eisen regelmässig eine sogenannte Bronzezeit vorausgegangen sei, unterliegt es neueren Forschungen zufolge kaum einem Zweifel, dass in Ländern, wo reine Eisenerze vorkamen, auch das Eisen schon vor der Bronze oder doch jedenfalls neben derselben dargestellt worden sei; aber die glänzenderen Eigenschaften der Bronze, insbesondere ihre leichtere Verarbeitbarkeit, ihre prächtige Farbe und ihre grössere Widerstandsfähigkeit gegen die Einflüsse der Feuchtigkeit, drängten das Eisen so lange in den Hintergrund, als der Bedarf an Metall überhaupt nicht bedeutend war. Nicht selten wird bei solchen Völkern, wo das Eisen schon vor der Bronze bekannt war, doch die bevorzugte Anwendung der letzteren die Eisendarstellung völlig zum Erliegen und in Vergessenheit gebracht haben, bis schliesslich der überhand nehmende Bedarf an Metall dahin führte, das uralte Gewerbe wieder aufzunehmen. Denn dem Eisen der alten Zeit fehlte eben diejenige Eigenschaft, welche das jetzige Eisen zu dem wichtigsten aller Metalle erhoben hat: die Billigkeit im Vergleiche zu dem Preise anderer Metalle; es wurde erst billiger als die Noth dazu trieb, es in grösseren Mengen darzustellen und man hierbei erkannte, wie viel reicher die Erde an Eisen sei als an anderen Metallen.

Jedenfalls gebührt nicht einem einzigen Manne oder Volke die Ehre, das Eisen zuerst dargestellt und die Erfindung über die Erde verbreitet zu haben, sondern, wie noch jetzt vorhandene Spuren erkennen lassen, wurde das Eisen in sehr verschiedenen Gegenden bereits von Volksstämmen dargestellt, welche gegenseitig von ihrem Dasein keine Ahnung hatten; noch heute werden durch Afrikareisende Völker angetroffen, welche, obwohl von dem Verkehre mit der Aussenwelt

---

in dem Umstande zu suchen, dass man in früherer Zeit, wo die Härtbarkeit allgemein als Unterscheidungsmerkmal zwischen Stahl und Schmiedeeisen galt, nur den Stahl im eigentlichen Sinne zu schmelzen verstand, und dass mithin der flüssige Aggregatzustand des erzeugten schmiedbaren Eisens auch so lange als ein charakteristisches Merkmal des Stahls gelten konnte, bis man durch neuere Methoden (Bessemerprocess u. a.) auch nichthärtbares Eisen im flüssigen Zustande darstellen lernte.

vollständig abgeschlossen, doch mit der Eisengewinnung in ihrer einfachsten Form sich vertraut zeigen, mit der Bronze oder dem Kupfer aber häufig unbekannt sind.

In den Schriften der historischen Völker lassen sich meistens Spuren ihrer Bekanntschaft mit dem Eisen bis zu den Anfängen aller schriftlichen Tradition hinauf verfolgen. In den Büchern Mosis wird mehrfach des Eisens erwähnt und Thubalkain, ein Abkömmling Kains im sechsten Gliede, wird ein „Meister in Erz und allerlei Eisenwerk" genannt, ein Beweis, dass der Erzähler selbst die Kenntniss des Eisens als uralt betrachtet; da aber jene Bücher jedenfalls bald nach dem Auszuge der Juden aus Aegypten (1600 v. Chr.) geschrieben wurden, so lässt sich folgern, dass auch dort, wo die Juden sich 430 Jahre lang aufhielten, das Eisen um jene Zeit schon bekannt gewesen sein muss. Auch Homer erwähnt nicht selten des Eisens und Stahls, und zwar mehr als Material für den Ackerbau als für den Krieg, da die Waffen der damaligen Zeit noch aus Bronze gefertigt wurden. In Italien war das Eisen schon lange vor den Römern bekannt; in einer im Jahre 1853 zu Villanova bei Bologna aufgedeckten Todtenstadt aus voretruskischer Zeit wurden eine grosse Zahl eiserner Geräthe gefunden.

Berühmt war im Alterthume, besonders bei den Griechen, das Eisen der Chalyber, eines Volksstammes am schwarzen Meere; die Bezeichnung *χάλυψ* für Eisen deutet darauf hin, dass jene die Lehrer der Griechen in der Eisendarstellung gewesen seien, und zahlreiche Reste alter Eisenhütten wurden zur Zeit des Kaisers Augustus in dem erwähnten Lande gefunden. Eine ausgedehnte Eisenindustrie wurde zur Römerzeit, als das Eisen bereits das Material für Waffen, Rüstungen, Ackerbaugeräthe, Handwerkszeug aller Art u. s. w. bildete, in verschiedenen eisenerzreichen römischen Provinzen betrieben, insbesondere in Spanien, Gallien, England, Kärnten; noch jetzt werden in jenen Ländern Schlackenhalden, ja selbst Oefen und Schmelzgeräthe aus der Römerzeit gefunden. Besonderen Ruf jedoch hatte das Eisen der Serer, eines vermuthlich ostasiatischen Volksstammes, welches gemeinschaftlich mit kostbaren Geweben nach Rom gebracht wurde und vermuthlich mit dem heutigen Wootz- oder Damascenerstahle übereinstimmte.

Sehr einfach war natürlich die Technik der Eisengewinnung im Alterthume. Roh- und Gusseisen kannte man überhaupt nicht; durch Schmelzen von reinen Eisenerzen mit reichem Brennstoffaufwande in niedrigen Oefen oder Feuern stellte man unter starkem Eisenverluste durch Verschlackung einen Klumpen schmiedbaren Eisens dar, welcher dann ausgeschmiedet wurde. Alle Nachrichten und erhaltenen Spuren früherer eisenhüttenmännischen Thätigkeit weisen darauf hin, dass das Verfahren im Wesentlichen überall das nämliche war, welches noch heute in entlegenen, von der Cultur nicht erreichten Gegenden angetroffen wird. Nur durch Zufall geschah es wohl mitunter, dass bei dem Schmelzprocesse die Reduction und Kohlung zu weit getrieben wurde, und dann entstand, wie Aristoteles von den schon erwähnten Chalybern berichtet, ein Eisen, welches „wie Wasser" schmolz, weisse Farbe besass, dem Rosten weniger unterworfen war, aber erst einer „Reinigung" durch wiederholtes Umschmelzen bedurfte, um schmiedbar

zu werden, welches also thatsächlich weisses Roheisen oder ein Mittelding zwischen Roheisen und Stahl war.

So lange man keine Gebläse kannte, betrieb man die Oefen mit natürlichem Luftzuge und baute sie deshalb gern an Bergesabhänge oder auf Bergesspitzen; wo jedoch die Technik einigermaassen fortgeschritten war, benutzte man auch schon im frühen Alterthume einfache Gebläse (Bälge), welche durch menschliche Arbeit bewegt wurden. Die Benutzung der Wasserkraft zum Betriebe der Gebläse datirt erst aus dem 13. Jahrhunderte und brachte naturgemäss eine durchgreifende Umgestaltung im Eisenhüttenwesen hervor. Denn während man früher die Erze an ihrer Fundstätte verhüttet hatte, musste nunmehr das Vorhandensein der Wasserkraft den Ausschlag für die Wahl des Standortes der Hüttenanlage geben. Alte Anlagen mussten kalt gelegt und dem Verfalle übergeben, neue eingerichtet werden. Der ersparten menschlichen Arbeit für den Betrieb des Gebläses standen die bei der Mangelhaftigkeit der Verkehrsmittel gewiss nicht unbeträchtlichen Kosten für den weiteren Transport der Schmelzmaterialien gegenüber. Nicht ohne manches Bedenken werden unsere Vorväter an die neue Betriebsweise herangetreten sein, und erst dann werden sie sich zu diesem Schritte entschlossen haben, als sie durch den mehr und mehr wachsenden Bedarf an Eisen zu einer Ausdehnung ihres Betriebes gezwungen wurden.

Aber noch in anderer Hinsicht knüpften sich schwerwiegende Folgen an die neue Einrichtung. Die Möglichkeit, grössere Windmengen und stärkere Windpressungen als bisher durch Benutzung der Elementarkraft zu erzeugen, gab Veranlassung, die Schmelzöfen zur besseren Wärmeausnutzung und Erzielung einer grösseren Production über ihr bisheriges Maass hinaus zu erhöhen; in den grösseren Ofen aber fand ein vollständigerer Reductions- und Kohlungsprocess statt, und statt des Klumpens schmiedbaren Eisens erhielt man Roheisen, dessen flüssiger Zustand bei der bereits in Blüthe stehenden Technik der Metallgiesserei auf seine Verwendbarkeit zur Gusswaarendarstellung hinwies. So begann die gewerbsmässige Roheisendarstellung; einen Schritt weiter, und man fand, dass beim wiederholten Umschmelzen der beim Giessen entstehenden Abfälle diese sich allmählich in schmiedbares Eisen umwandelten, wodurch die bis dahin gebräuchliche Darstellung schmiedbaren Eisens aus den Erzen in den Hintergrund gedrängt und die Bahn für das heutige System der Eisendarstellung im Grossen gebrochen wurde.

Wesentliche Fortschritte seit jener Zeit traten dann erst wieder hervor, als man im 18. Jahrhunderte, durch den überhand nehmenden Holzmangel gezwungen, anfing, mineralische Brennstoffe statt der bis dahin ausschliesslich benutzten Holzkohlen für den Eisenhüttenbetrieb zu verwenden, und als anderntheils durch die Erfindung der Dampfmaschine nicht allein der Eisenindustrie ein grösseres Feld als bisher eröffnet, sondern sie auch von jener immerhin lästigen Fessel befreit wurde, durch welche sie fast ein halbes Jahrtausend an den Lauf fliessender Gewässer gebannt war. Rascher als früher in Jahrhunderten schritt jetzt in Jahrzehnten die Eisenindustrie vorwärts, und rasch folgte eine Erfindung auf die andere.

Dennoch würde das Eisenhüttengewerbe niemals auch nur annähernd jene ungeheure Ausdehnung erlangt haben, welche es in der Jetztzeit besitzt, wenn nicht an die Erfindung der Dampfkraft sich fünfzig Jahre später eine Anwendung derselben gereiht hätte, welche berufen war, die tiefsten Einflüsse auf Cultur und Wirthschaft der Völker zu üben: die Benutzung des Dampfes zum Eisenbahnbetriebe im Jahre 1825. Ein Netz eiserner Schienen, von Jahr zu Jahr wachsend und infolge des Verschleisses einer stetigen Ergänzung bedürftig, dehnte sich und dehnt sich noch heute allmählich über das bewohnte Festland aus; ausser den Schienen bestehen zahlreiche andere Hilfsmittel des Eisenbahnbetriebes aus Eisen. Nunmehr war der Verwendung des Eisens ein Feld eröffnet, wie es schwerlich Jemand zuvor zu träumen gewagt hätte, ein Feld, welches sich von Jahr zu Jahr mit reissender Schnelligkeit erweiterte. Ein deutliches Bild dieser Steigerung des Bedarfs an Eisen erhält man durch Ziffern. Die jährliche Eisenproduction Grossbritanniens betrug

im Jahre	1806	243 851	Tonnen	(à 1000 kg)
„ „	1830	678 417	„	„
„ „	1840	1 396 400	„	„
„ „	1848	1 999 600	„	„
„ „	1854	3 115 880	„	„
„ „	1863	4 510 000	„	„
„ „	1872	6 741 000	„	„
„ „	1878	6 483 000	„	„
„ „	1879	6 092 000	„	„
„ „	1880	7 872 000	„	„

Es ist leicht erklärlich, dass in den ersten Jahrzehnten nach der Einführung der Eisenbahnen die Zunahme der Eisenerzeugung vorzugsweise deutlich in Grossbritannien, dem Heimathlande der Dampfkraft und dem an Materialien und Hilfsmitteln für die Eisenindustrie so überaus reichen Lande, hervortrat; allmählich aber begann auch in den übrigen Ländern ein mächtiger Aufschwung der Eisenindustrie. Beispielsweise betrug die Roheisenproduction der ganzen Erde in Tonnen (abgerundet):

	1870	1878	1879	1880	1881
In Grossbritannien	6 059 000	6 483 000	6 092 000	7 872 000	8 377 000
„ den Ver. Staaten	1 900 000	2 337 000	2 785 000	3 895 000	4 642 000
„ Deutschland	1 390 000	2 147 000	2 226 000	2 729 000	2 900 000
„ Frankreich	1 178 000	1 152 000	1 400 000	1 725 000	1 895 000
„ Belgien	565 000	519 000	453 000	608 000	631 000
„ Oesterreich u. Ungarn	403 000	434 000	404 000	445 000	}
„ Russland	360 000	417 000	434 000	434 000(?)	} 1 500 000
„ Schweden	300 000	340 000	344 000	405 000	}
„ allen übrigen Ländern	150 000	185 000	185 000	200 000	}
Summa	12 305 000	14 014 000	14 323 000	18 313 000	19 945 000

Es ergiebt sich aus dieser Tabelle, dass unter allen eisenerzeugenden Ländern Grossbritannien den entschiedenen Vorrang behauptet; aber sein Antheil an der Gesammtproduction der Erde verringert sich naturgemäss mehr und mehr, je stärker die Eisenindustrie auch in anderen Ländern sich ausdehnt, und beträgt z. B. im Jahre 1870 50 Proc., im Jahre 1878 46 Proc., im Jahre 1880 und 1881 43 Proc. der gesammten Eisenerzeugung. Das stärkste Wachsthum zeigt die Eisen-

industrie der Vereinigten Staaten, welche ihrer Leistung nach die zweite Stelle, und Deutschlands, welche die dritte Stelle einnimmt; in beiden Ländern stieg innerhalb elf Jahren die Menge des gewonnenen Eisens auf mehr als das Doppelte.

Literatur.

a. Eintheilung des Eisens.

M. A. Greiner, Ueber die Definition des Stahls. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, S. 175; Revue universelle des mines 1875, p. 564.

R. Åkerman, Ansichten über den richtigen Begriff von Stahl. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, S. 337; Jern-Kontorets Annaler, Bd. 67, Heft 3.

H. Wedding, Die Nomenklatur des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses 1877, S. 46.

Classification von Eisen und Stahl. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses 1878, S. 60; Ztschr. des berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 252.

b. Historisches.

A. Ledebur, Zur Geschichte des Eisens. Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1881, S. 90.

A. Frantz, Eisen und Stahl im Alterthume. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1882, S. 178.

H. Wedding, Beiträge zur Geschichte des Eisenhüttenwesens im Harz. Zeitschrift des Harzvereins 1881.

c. Statistisches.

Paul Trasenster, Revue économique et statistique. Revue universelle des mines, tome XI (1882), p. 189; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1882, S. 199.

II. Ueber Verbrennung, Reduction, Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe.

1. Verbrennung und Reduction.

Verbrennung im allgemeinsten Sinne nennen wir jede chemische Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff (Oxydation); im engeren Sinne sprechen wir von Verbrennung nur dann, wenn eine solche Wärmeentwickelung damit verknüpft ist, dass der brennende Körper ein Erglühen zeigt.

Der dem Verbrennen entgegengesetzte Vorgang ist die Reduction, d. h. die Abscheidung eines einfachen Körpers aus einem zusammengesetzten, beziehentlich einer sauerstoffärmeren Verbindung aus der sauerstoffreicheren; allgemein auch die Abscheidung eines Körpers, insbesondere Metalls, aus einer Verbindung (mit Schwefel, Arsen u. s. w.).

Wird bei der Oxydation eines Körpers Wärme erzeugt, so ist genau dieselbe Wärmemenge erforderlich, um die Reduction desselben aus der Verbindung zu bewirken, welche aus dem Verbrennungs-

processe hervorging. Die Kenntniss dieser Wärmemengen ist von Wichtigkeit für das Verständniss und die richtige Beurtheilung metallurgischer, insbesondere auch eisenhüttenmännischer Processe.

Reduction und Oxydation (Verbrennung) gehen gewöhnlich neben einander her; zur Reduction eines Körpers wird ein anderer benutzt, dessen Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff (beziehentlich zum Schwefel u. s. w.) grösser ist als das des ersten, so dass er diesem seinen Sauerstoff u. s. w. entzieht, dabei selbst mit demselben sich chemisch verbindend. Ist die Verbrennungswärme des reducirenden Körpers grösser als diejenige des reducirten, so wird bei diesem Vorgange Wärme gewonnen und es tritt Temperatursteigerung ein; im entgegengesetzten Falle wird Wärme verbraucht und muss von aussen her, d. h. aus einer besondern Wärmequelle, ersetzt werden, wenn nicht Abkühlung eintreten soll, welche unter Umständen ein Aufhören des Reductionsprocesses zur Folge haben kann.

Nur wenige Körper wirken bei gewöhnlicher Temperatur oxydirend beziehentlich reducirend auf einander. Bei allen hüttenmännischen Processen ist eine erhöhte Temperatur erforderlich, welche das Oxydationsbestreben des als Reductionsmittel dienenden Körpers (seine Verwandtschaft oder Affinität zum Sauerstoff u. s. w.) steigert; selbstverständlich wird aber durch diese Einwirkung der gesteigerten Temperatur überhaupt nur dann eine Reduction eintreten können, wenn nicht auch die Verwandtschaft des anderen Körpers, welcher reducirt werden soll, in dem gleichen Maasse zunimmt. Mit anderen Worten: Reduction durch Einwirkung zweier Körper im erhitzten Zustande auf einander ist die Folge einer durch die Erhitzung bewirkten einseitigen Steigerung der Verwandtschaft des als Reductionsmittel dienenden Körpers zum Sauerstoff u. s. w.; unter Umständen auch einer durch die Erhitzung hervorgerufenen einseitigen Verringerung der Verwandtschaft des aus einer Verbindung zu reducirenden Körpers.[1])

Diese Thatsache, so leicht verständlich sie auch ist, wird vielfach bei dem Studium metallurgischer Processe unbeachtet gelassen, und man erschwert sich dadurch nicht unwesentlich das Verständniss derselben. Es folgt aus jenen Beziehungen zwischen Temperatur und chemischer Verwandtschaft, dass, wie die Praxis bestätigt, nicht allein die Reductionstemperaturen für verschiedene Körper und auch bei Anwendung verschiedener Reductionsmittel sehr verschieden sein können, sondern dass auch Reductionsmittel, welche in dem einen Falle benutzbar sind, doch in anderen Fällen, d. h. bei anderen zu reducirenden Körpern, oft vollständig wirkungslos bleiben, sofern es eben nicht gelingt, ihre Verwandtschaft zum Sauerstoffe u. s. w. durch Erhitzung auf einen höheren Grad als bei dem zu reducirenden Körper zu steigern. Von diesen Umständen muss die Wahl des Reductionsmittels wie die Höhe der anzuwendenden Temperatur abhängig sein.

Bei den Reductionsprocessen der Eisendarstellung werden fast

---

1) Es ist bekannt, dass manche Körper schon durch einfache Erhitzung ohne Einwirkung eines zweiten Körpers zerlegt — dissociirt — werden. Je näher die Temperatur diesem Dissociationspunkte rückt, desto geringer wird gewöhnlich die Verwandtschaft der verbundenen Körper, desto leichter ist Reduction zu bewirken.

ausschliesslich Sauerstoffverbindungen (Oxyde) reducirt und es kommen dabei vorwiegend zwei Reductionsmittel zur Anwendung: Kohlenstoff und Kohlenoxydgas. Bei der Anwendung von Kohlenstoff ist das Ergebniss des Zersetzungs- und Verbrennungsprocesses Kohlenoxydgas neben dem reducirten Körper, bei Anwendung von Kohlenoxydgas erfolgt Kohlensäure. Bezeichnet man allgemein das zu reducirende Oxyd mit RO, so lässt sich der Vorgang in beiden Fällen darstellen durch die Formeln:

$$RO + C = R + CO \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

$$RO + CO = R + CO_2 \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Es bedarf keiner Erwähnung, dass unter Umständen das bei dem Vorgange Nr. 1 erfolgende Kohlenoxydgas zu einem abermaligen Reductionsprocesse nach Formel 2 benutzbar bleiben kann. Das Verhalten der beiden reducirenden Körper gegenüber den verschiedenen hier in Betracht kommenden Oxyden ist jedoch ein wesentlich abweichendes.

Die Oxydationstemperatur des Kohlenstoffes liegt — abweichend nach seiner äusseren Beschaffenheit (Holzkohle, Koks, Anthracit, Graphit u. s. w.) — bei 400—800° C.[1]; unterhalb dieser Temperatur vermag also der Kohlenstoff nicht als Reductionsmittel zu wirken. Die Begierde des Kohlenstoffes, sich mit Sauerstoff chemisch zu vereinigen, seine Verwandtschaft zum Sauerstoffe, wächst aber von jener Entzündungstemperatur an aufwärts in sehr starkem Maasse und erreicht erst in heller Weissgluth ihren höchsten Grad. Das Kohlenoxydgas aber, welches aus der Oxydation des Kohlenstoffes bei der Benutzung desselben zur Reduction anderer Körper hervorgeht, ist auch in den höchsten in unseren Oefen erreichbaren Temperaturen beständig, es wird weder in merkbarem Grade dissociirt noch vermag es oxydirend auf andere Körper zu wirken, ein Umstand, welcher in sehr naher Beziehung zu der soeben erwähnten Steigerung der Verwandtschaft des Kohlenstoffes zum Sauerstoffe durch Temperaturzunahme steht, und ohne welchen diese nicht möglich sein würde. Körper, deren Verwandtschaft zum Sauerstoffe durch Erhitzen nicht in dem gleichen Maasse wie diejenige des Kohlenstoffes gesteigert wird, lassen sich also häufig aus ihren Oxyden durch starke Erhitzung mit Kohlenstoff reduciren, auch wenn sie in weniger hohen Temperaturen — beispielsweise in Rothgluth — vollständig widerstandsfähig gegenüber der Einwirkung des Kohlenstoffs sein sollten. In dieser Weise verhalten sich z. B. Kalium, Natrium, Mangan u. s. w.; und gerade jene dem Kohlenstoffe eigenthümliche Eigenschaft, durch Erhitzung seine Verwandtschaft zum Sauerstoffe in stärkerem Maasse als viele andere Körper zu steigern, erhebt ihn zu einem der vorzüglichsten Reductionsmittel in hohen Temperaturen.

Kohlenoxyd dagegen besitzt in *niedrigeren* Temperaturen eine starke Neigung, durch Aufnahme eines zweiten Atomes Sauerstoff Kohlensäure zu bilden. Bei einer Temperatur von 400° wird es durch

---

1) Durch freien Sauerstoff wird allerdings Kohlenstoff auch schon bei gewöhnlicher Temperatur, wenn auch sehr langsam, zu Kohlensäure oxydirt. Vergl. *Poggendorff's* Annalen, Bd. CIX, S. 353.

fremden Sauerstoff oxydirt; ja, durch die Anwesenheit gewisser Körper wird es schon bei noch niedrigerer Temperatur — zwischen 300 und 400° — zum Zerfallen gebracht, indem Kohlensäure und fester Kohlenstoff entstehen:

$$2CO = C + CO_2,$$

ein Vorgang, welcher später (diese Abtheilung, VII) ausführlichere Besprechung finden wird. Die aus der Oxydation des Kohlenoxydes hervorgehende Kohlensäure aber zeigt um so geringere Beständigkeit, je höher die Temperatur steigt. Sie beginnt schon bei ca. 1200° C. in Kohlenoxyd und Sauerstoff zu zerfallen und kann bei 2000° C. überhaupt nicht mehr bestehen. Es folgt hieraus von selbst, dass eine Verbrennung des Kohlenoxydes zu Kohlensäure immer schwieriger wird, sobald jene Temperaturgrenze überschritten ist, und es ist leicht erklärlich, dass, wie die Erfahrung lehrt, die Kohlensäure in höheren Temperaturen kräftig oxydirend auf andere Körper einwirkt, deren Verwandtschaft zum Sauerstoffe in jenen Temperaturen höher als die des Kohlenoxydes ist. Eben deshalb verliert aber das Kohlenoxyd um so mehr an reducirender Kraft, je höher die Temperatur über eine gewisse Grenze hinaus steigt, welche durch die Oxydationsfähigkeit des zu reducirenden Körpers in höheren Temperaturen gegeben ist; und ein und dasselbe Gemisch von Kohlensäure und Kohlenoxyd (welches stets entsteht, sobald ein kohlenoxydhaltiger Gasstrom Reduction ausübt) kann in niedrigeren Temperaturen reducirend, in höheren Temperaturen oxydirend auf den nämlichen Körper einwirken. Nach Versuchen von L. Bell verhält sich ein Gemisch beider Gase gegenüber metallischem Eisen neutral, d. h. es wirkt weder reducirend noch oxydirend, wenn es

in Weissgluth . .	90	Vol. Kohlenoxyd	neben	10	Vol. Kohlensäure
„ heller Rothgluth	68	„ „	„	32	„ „
„ dunkler „	40	„ „	„	60	„ „

enthält.

Durch den gasförmigen Zustand des Kohlenoxydes wird seine Berührung mit zu reducirenden festen Körpern erleichtert; es umhüllt dieselben, dringt in die Poren derselben ein u. s. w. Zwischen einem festen Körper und Kohle dagegen ist die gegenseitige Berührung um so unvollkommener, je grobstückiger beide sind; sie wird vergrössert, wenn Schmelzung des ersteren eintritt.

Alle diese Unterschiede in dem Verhalten der Kohle und des Kohlenoxydes liefern eine genügende Erklärung für die Thatsache, *dass für Reductionsprocesse, welche in niedrigeren Temperaturen ausführbar sind, Kohlenoxyd das geeignetere Reductionsmittel ist, während Kohle als Reductionsmittel um so werthvoller wird, je höher die Temperatur steigt, und in den höchsten Temperaturen unserer Oefen einzig und allein zur Reduction benutzbar bleibt.* Metalle, deren Oxyde durch Kohlenoxyd reducirbar sind, nennen wir *leicht reducirbar*, solche, die nur noch durch Kohle in Weissgluth reducirt werden können, *schwer reducirbar*.

Aus jener oxydirenden Wirkung der Kohlensäure in höheren Temperaturen erklärt sich dann auch leicht die bekannte Erscheinung,

dass Kohle durch Kohlensäure verbrannt werden kann, wobei Kohlenoxyd entsteht:

$$C + CO_2 = 2\,CO;$$

und zwar geht diese Verbrennung des Kohlenstoffes, beziehentlich diese Reduction der Kohlensäure um so rascher, vollständiger vor sich, in je höherer Temperatur beide Körper einander berühren.

Es ergiebt sich ferner aus den geschilderten Einflüssen der Temperatur auf die Verbrennung des Kohlenstoffes und des Kohlenoxydes sowie aus dem Verhalten der Kohlensäure in hohen Temperaturen der wichtige Satz: bei der Oxydation von Kohle durch atmosphärischen Sauerstoff entsteht in niedrigerer Temperatur vorwiegend Kohlensäure, in höherer Temperatur vorwiegend Kohlenoxyd, sofern die ausreichende Menge Kohlenstoff zur Bildung des letzteren (wobei die doppelte Menge Kohle als bei Kohlensäurebildung durch die gleiche Menge Sauerstoff verbrannt wird) zugegen ist.[1])

Aehnlich wie Kohlenoxyd verhält sich Wasserstoff als reducirender Körper. Bei der Verbrennung desselben entsteht Wasserdampf; aber derselbe wird bereits bei 1000° C. dissociirt und wirkt schon in niedrigerer Temperatur oxydirend, wenn er mit Körpern zusammentrifft, deren Verwandtschaft zum Sauerstoff durch Erwärmung gesteigert wird. So wird glühende Kohle durch Wasserdampf in höherer Temperatur zu Kohlenoxyd, in weniger hoher Temperatur zu Kohlensäure verbrannt:

$$C + H_2O = CO + 2H$$
$$C + 2H_2O = CO_2 + 4H$$

und das Erzeugniss dieses Processes ist das in jüngster Zeit so vielfach besprochene Wassergas.

Es folgt hieraus, dass auch Wasserstoffgas, welches als zufälliger Bestandtheil der Gase mancher Oefen in nicht ganz unerheblichen Mengen auftritt, als Reductionsmaterial nur für leicht reducirbare Oxyde geeignet ist.

Durch Gegenwart dritter Körper, welche das Bestreben besitzen, mit den Erzeugnissen des Reductions- beziehentlich Oxydationsprocesses Verbindungen einzugehen, wird dieser Process oft in merkbarer Weise befördert. So z. B. ist Silicium aus der Kieselsäure durch Kohle allein auch in hellster Weissgluth nicht reducirbar, besitzt aber eine starke Verwandtschaft zum Eisen. Hieraus erklärt sich, dass bei Gegenwart von metallischem

---

1) In vielen technischen Werken, Zeitschriften u. s. w. findet man fälschlich die entgegengesetzte Behauptung ausgesprochen, nämlich, dass Kohlensäure das Ergebniss einer Verbrennung in hoher Temperatur sei, ja, dass zur Kohlensäurebildung überhaupt eine hohe Temperatur erforderlich sei. Manche Begriffsverwirrung ist durch diese irrige Anschauung, welche mit den Erscheinungen der Praxis im Widerspruche steht, schon hervorgerufen worden. Eine ausführlichere Widerlegung derselben findet der Leser in der Abhandlung des Verfassers: Wird durch hohe Temperatur Kohlensäure- oder Kohlenoxyd-Bildung befördert? „Stahl und Eisen" 1882, S. 356.

Eisen schon in Rothgluth Silicium reducirt und von dem Eisen aufgenommen werden kann. Eine noch stärkere Verwandtschaft zum Eisen als Silicium besitzt Phosphor. Aus geschmolzenem Eisen wird daher auch unter kräftig oxydirenden Einwirkungen Phosphor nicht abgeschieden, so lange eine kieselsäurereiche Schlacke, welche keine Neigung besitzt, Phosphorsäure aufzunehmen, zugegen ist; aber die Abscheidung gelingt bei Anwesenheit basischer Körper, welche Phosphate zu bilden geneigt sind. Viele andere Erscheinungen der Praxis lassen sich auf ähnliche Vorgänge zurückführen.

2. Vollständige und unvollständige Verbrennung.

Man nennt die Verbrennung eines Körpers vollständig, wenn die Verbrennungserzeugnisse (welche bei den gewöhnlichen Brennstoffen gasförmig sind) keine brennbaren Bestandtheile mehr enthalten. Verbrennt man Kohle, so enthalten die Verbrennungserzeugnisse bei vollständiger Verbrennung neben dem etwa vorhandenen überschüssig zugeleiteten Sauerstoff nur noch Stickstoff (aus der Verbrennungsluft stammend) und Kohlensäure; verbrennt man flammende Brennstoffe, so tritt noch Wasserdampf als Verbrennungserzeugniss zu den soeben genannten. Unvollkommen würde die Verbrennung sein, wenn sich Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe, Destillationserzeugnisse (Theer, Rauch) mit den Verbrennungsgasen gemischt befänden.

Sofern es sich bei der Verbrennung eines Brennstoffes darum handelt, eine möglichst grosse Wärmemenge zu erzeugen, wird man darnach trachten müssen, eine möglichst vollständige Verbrennung zu bewirken; denn jeder unverbrannt gebliebene Bestandtheil der Verbrennungsgase ist gleichbedeutend mit einem Wärmeverluste. Obschon die Mittel, welche man zur Erreichung dieses Zieles anzuwenden hat, unter verschiedenen Verhältnissen (bei verschiedenen Brennstoffen, verschiedenen Feuerungseinrichtungen u. s. w.) verschieden sein können, lassen sich doch auch einige allgemein gültige Regeln dafür aufstellen.

1. *Vollständige Verbrennung ist nur bei einem Ueberschusse von Sauerstoff zu ermöglichen.* Verbrennt man also gasförmige Körper durch atmosphärische Luft, so muss mit denselben soviel der letzteren gemischt werden, dass mehr Sauerstoff zugegen ist, als zur vollständigen Verbrennung erforderlich gewesen sein würde; verbrennt man festen Brennstoff auf einem Roste, so muss zwischen den Spalten des letzteren und den Stücken des ersteren hindurch so viel Luft ihren Weg finden, dass nicht allein die vom Roste aufsteigenden, die Flamme bildenden Gase dadurch verbrannt werden können, sondern dass auch noch überschüssiger Sauerstoff in dem aufsteigenden Gasgemenge zugegen ist.

2. *Eine hohe Temperatur in dem Verbrennungsraume befördert die chemische Vereinigung zwischen dem Sauerstoff und den brennbaren Bestandtheilen und erleichtert somit die vollständige Verbrennung.* Der nach 1) erforderliche *Sauerstoffüberschuss kann geringer sein, wenn die Temperatur hoch ist.*

Die Anwendung dieses unzweifelhaft an und für sich vollständig richtigen Lehrsatzes muss jedoch mit Vorsicht und stets unter Berücksichtigung des Lehrsatzes 1) geschehen, wenn nicht Irrthümer und fälschliche Schlussfolgerungen daraus hervorgehen sollen.

Wir wissen z. B., dass Kohlensäure in Temperaturen über 2000° C. nicht mehr bestehen kann und schon in noch niedrigerer Temperatur (1200—2000°) theilweise dissociirt wird; und dass Wasserdampf sich ähnlich verhält. In Säuren, wo derartige hohe Temperaturen herrschen, kann also eine unmittelbare, rasche, vollständige Verbrennung kohlenstoff- oder wasserstoffhaltiger Brennstoffe (Kohle, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe) nicht stattfinden, sondern es wird Sauerstoff neben kohlenstoffhaltigen Gasen beziehentlich neben Wasserstoff zugegen sein. Bei der Fortbewegung dieses Gasgemenges aber tritt unvermeidlich Abkühlung ein; und sobald infolge davon die Temperatur sinkt, erfolgt Vereinigung des Sauerstoffes mit den brennbaren Bestandtheilen. Auf diese Weise erklärt sich die Entstehung einer langen Flamme in Räumen mit sehr hoher Temperatur.

Trifft freier Sauerstoff auf Kohlen im festen Zustande, so wird eine um so grössere Menge derselben verbrannt werden und eine um so geringere Menge des Sauerstoffes unverzehrt bleiben, je höher die Temperatur an der Stelle ist, wo die Kohlen sich befinden. Gerade deshalb aber, gerade weil die Verwandtschaft des Kohlenstoffes zum Sauerstoffe in der höheren Temperatur sich steigert, entstehen, wie schon oben (S. 14) betont wurde, zunächst um so reichlichere Mengen von Kohlenoxyd (bei dessen Bildung die doppelte Menge Kohlenstoff als bei Kohlensäurebildung verbrannt wird), je stärker die Kohlen erhitzt sind. In einem Gasgenerator, in welchem atmosphärische Luft durch eine hohe Schicht glühender Kohlen geleitet wird, ist die Ausbeute an brennbarem Kohlenoxyd um so beträchtlicher, der Gehalt des Gases an Kohlensäure um so geringer, je höher die Temperatur im Generator ist; bei einem Roste, auf welchem Holzkohlen oder Koks verbrannt werden, sehen wir, so lange die Temperatur niedrig ist, keine Spur einer Flamme, die Verbrennungsgase bestehen aus Kohlensäure nebst Stickstoff, wenig Kohlenoxyd und noch reichlichen Mengen unverzehrten Sauerstoffes; steigt die Temperatur, so entwickelt sich eine blaue Flamme, welche grösser und grösser wird, ein Beweis, dass zunächst auf dem Roste Kohlenoxydgas entstand, welches erst oberhalb der Kohlenschicht durch noch vorhandenen oder von aussen zutretenden Sauerstoff verbrannt wird.

Der scheinbare Widerspruch zwischen diesen Thatsachen und der im Lehrsatze 2) ausgesprochenen Behauptung, dass eine hohe Temperatur die vollständige Verbrennung befördert, löst sich ohne Schwierigkeit, wenn man die in Lehrsatz 1) gegebene Regel in Mitberücksichtigung zieht, nach welcher eine vollständige Verbrennung — in diesem Falle also Kohlensäurebildung — nur bei einem Sauerstoffüberschusse möglich ist. Wenn aber in einem Gasgenerator, auf einem Roste und in ähnlichen Fällen durch hohe Temperatur die Verwandtschaft des Kohlenstoffes zum Sauerstoffe gesteigert wird, so verschwindet eben infolge dieses Umstandes der freie Sauerstoff mehr und mehr, indem er zur reichlicheren Kohlenoxydgasbildung verwendet wird; und die erste Be-

dingung zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung bleibt somit unerfüllt. Auch eine gewöhnliche Rostfeuerung würde bei sehr hoch gesteigerter Temperatur, in welcher rasch der zutretende Sauerstoff zur Kohlenoxydgasbildung verzehrt wird, zum Gasgenerator werden, wenn nicht in der Wirklichkeit infolge des allmählichen Verbrennens der Kohlenstücke die Zwischenräume zwischen denselben immer beträchtlicher würden, die Menge des unverzehrt hindurchgehenden, mit dem aufsteigenden Kohlenoxyd sich mischenden Sauerstoffes demnach immer mehr zunähme; und wenn nicht andererseits jede Aufschüttung frischen Brennstoffes auf den Rost wieder eine Temperaturerniedrigung nach sich zöge.

3. Innige Mischung der Brennstoffe mit der Verbrennungsluft erleichtert die vollständige Verbrennung. Die Gründe hierfür sind leicht einzusehen. Wie bei jedem anderen chemischen Vorgange wird die Vereinigung durch eine ausgedehnte gegenseitige Berührung befördert, welche durch innige Mischung hervorgerufen wird. Daher verbrennen gasförmige Brennstoffe, welche sich ohne Schwierigkeit mit der Verbrennungsluft mischen lassen, durchschnittlich leichter und mit geringerem erforderlichen Luftüberschusse als feste; ähnlich wie gasförmige Brennstoffe verhalten sich staubförmige, welche, mit Luft innig gemischt, in den Verbrennungsraum eingeführt werden (vergl. Crampton's Puddelofen in Abtheilung III).

4. Eine Verdünnung der chemisch thätigen Stoffe (Sauerstoff einerseits, Kohlenstoff und Wasserstoff andererseits) erschwert die vollständige Verbrennung.

Die atmosphärische Luft besteht bekanntlich aus ungefähr 77 Gewichtstheilen Stickstoff und nur 23 Gewichtstheilen Sauerstoff. Letzterer gelangt also in stark verdünntem Zustande zur Wirkung und hieraus erklärt sich die weit kräftigere Wirkung reinen Sauerstoffgases. Verbrennt aber ein Körper mit Flamme, d. h. unter Entwickelung und Fortbewegung brennbarer Gase, so wird an irgend einer Stelle der Flamme der noch vorhandene Sauerstoff um so stärker auch mit den bereits entstandenen Verbrennungserzeugnissen incl. des bei der bereits stattgehabten Verbrennung zurückgebliebenen Stickstoffes verdünnt sein, je weiter diese Stelle vom Entzündungspunkte, d. h. von der Wurzel der Flamme, entfernt ist. Die Verbrennung würde also nach der Spitze der Flamme zu immer schwieriger werden, wenn sie nicht andererseits durch die nach derselben Richtung hin stattfindende Zunahme der Temperatur — eine Folge der bereits stattgehabten theilweisen Verbrennung — befördert würde. Trotzdem erhält man, wie bekannt, nicht selten eine an der Spitze schmauchende Flamme, wenn man nicht besondere Kunstgriffe anwendet, um die Verbrennung an dieser Stelle zu erleichtern.

Aus dem benachtheiligenden Einflusse der Verdünnung der verbrennenden Körper durch andere Stoffe folgt auch, dass jeder Luftüberschuss, obschon nach Lehrsatz 1) für die vollständige Verbrennung unerlässlich, doch in anderer Hinsicht erschwerend auf dieselbe einwirkt; oder dass, mit anderen Worten, eine Grenze für diesen Luftüberschuss gegeben ist, abhängig von der Beschaffenheit des Brennstoffes, der Feuerung u. s. w., über welche hinaus die Vollständigkeit der Verbrennung durch einen weiteren Ueberschuss leiden würde.

5. Bei Anwendung stückförmiger Brennstoffe wird die Verbrennung zu Kohlensäure durch verhältnissmässig geringe von denselben dargebotene Oberfläche befördert; dichte und grossstückige Brennstoffe liefern daher reichlichere Mengen von Kohlensäure als poröse und kleinstückige.

Je geringer die von dem Brennstoffe dargebotene Oberfläche ist, desto grösser ist das Verhältniss zwischen den vorhandenen Sauerstoffatomen und den von denselben berührten Kohlenstoffatomen, desto grösser mithin der augenblickliche Sauerstoffüberschuss, desto reichlicher entsteht Kohlensäure. Daher ist das Verhältniss der entstehenden Kohlensäure zum entstehenden Kohlenoxyd unter übrigens gleichen Verhältnissen weit grösser, wenn Koks als wenn Holzkohlen, die eine erheblich geringere Dichtigkeit besitzen, verbrannt werden. In derselben Weise wie freier Sauerstoff verhält sich Kohlensäure, wenn dieselbe durch glühende Kohlen geleitet wird; d. h. von den letzteren wird durch die Kohlensäure eine um so geringere Mengé verbrannt, die Kohlensäure wird um so unvollständiger reducirt, je dichter die Kohlen sind. Bell[1]) fand z. B. nach dem Hinüberleiten von Kohlensäure über glühende Kohlen in dem Gasgemenge:

	CO_2	CO
bei dichten Koks	94.56 Proc.	5.44 Proc.
„ porösen „	69.81 „	30.19 „
„ Holzkohlen	35.20 „	64.80 „

In naher Beziehung zu diesen Einflüssen der Dichtigkeit des Brennstoffes auf die Vollständigkeit der Verbrennung steht bei Anwendung von Gebläsewind die Thatsache, dass stark gepresster Wind Kohlenoxydgasbildung, weniger stark gepresster Kohlensäurebildung befördert. Denn in je stärker gepresstem Zustande der Wind zwischen die Stücke und in die Poren des Brennstoffes eindringt, je weniger Raum er selbst also einnimmt und je weniger Oberfläche er darbietet, desto grösser ist das Verhältniss der vom Brennstoffe ihm gebotenen Fläche, desto mehr Atome Kohlenstoff werden durch die gleiche Menge Sauerstoff verbrannt, desto reichlicher wird Kohlenoxydgas entstehen. Pressung des Windes wirkt also ebenso wie Porosität des Brennstoffes; und aus den nämlichen Ursachen.

6. Bei Verbrennung gasförmiger Brennstoffe wird die vollständige und rasche Verbrennung befördert, wenn die Verbrennungsluft und die zu verbrennenden Gase in verschiedener Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit auf einander treffen. Die Richtigkeit dieses Lehrsatzes lässt sich leicht aus dem Umstande herleiten, dass die Mischung von Gas und Luft durch jene Verschiedenheiten in der Richtung und Geschwindigkeit beider Ströme erleichtert wird; eine rasche und innige Mischung beschleunigt aber auch nach Lehrsatz 3) die Verbrennung.

---

1) The Journal of the Iron and Steel Institute 1872 I, p. 74; Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben und Přibram Band XXI, S. 234.

3. Wärmeerzeugung und Verbrennungstemperatur.

a) Wärmeerzeugung.

Sofern ein Körper dazu bestimmt ist, als Brennstoff zu dienen, d. h. sofern die Wärmeentwickelung der hauptsächlichste Zweck seiner Verbrennung ist, hängt natürlicherweise sein Werth zum grossen Theile ab von der Wärmemenge, welche derselbe liefert. Man pflegt die von der Gewichtseinheit (z. B. 1 kg) des Körpers bei der Verbrennung entwickelte Wärmemenge als den absoluten Wärmeeffect desselben zu bezeichnen und misst diese Wärmemenge nach Wärmeeinheiten (in Folgendem mit W.-E. bezeichnet) oder Calorien, wobei man bekanntlich unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge versteht, welche erforderlich ist, die Temperatur einer Gewichtseinheit (1 kg) Wasser von Null Grad auf 1 Grad zu erhöhen.

Aber auch bei vielen solchen Körpern, welche nicht eigentlich als Brennstoffe zu dienen berufen sind, spielt die Verbrennungswärme, d. h. die bei ihrer chemischen Vereinigung mit Sauerstoff frei werdende Wärme eine wichtige Rolle.

Wenn z. B. bei einem metallurgischen Processe Oxydation einzelner Bestandtheile der in Verarbeitung begriffenen Metalle oder metallischen Verbindungen eintritt und dabei Wärme entwickelt wird, so kann diese entwickelte Wärme Einflüsse auf den Verlauf des betreffenden Processes ausüben. Andterntheils ist, wie schon oben hervorgehoben wurde, zu der Reduction eines Körpers aus seinen Verbindungen genau dieselbe Wärmemenge erforderlich, welche bei der Bildung der Verbindungen frei wurde, und dieser Wärmeverbrauch muss, wenn die Reduction gelingen soll, von aussen her gedeckt werden.

Leider ist unsere Kenntniss von der durch die Verbrennung erzeugten, beziehentlich für die Reduction erforderlichen Wärme hinsichtlich vieler Körper, welche in den Processen der Eisendarstellung eine Rolle spielen, noch ziemlich unvollständig, und nicht selten müssen wir uns mit Schätzungswerthen oder Annäherungswerthen begnügen, wenn wir durch Rechnung uns über die Ausnutzung der Wärme bei diesem oder jenem Vorgange Rechenschaft zu geben bemüht sind. Besonders erschwert wird die Benutzung vorhandener Ermittelungen über die Verbrennungswärme in solchen Fällen, wo der betreffende Körper mehr als eine Verbindung mit Sauerstoff einzugehen im Stande ist (Eisen, Mangan u. a.); denn in fast allen Fällen ist die Verbrennungswärme nur bezüglich einer dieser Oxydationsstufen bestimmt, und die Beobachtung in der Praxis lehrt uns ziemlich zweifellos, dass das sogenannte Welter'sche Gesetz, nach welchem gleiche Sauerstoffmengen auch gleiche Wärmemengen bei der Verbrennung erzeugen, selbst mit der Einschränkung, dass ein und derselbe Körper verbrannt und nur verschiedentlich hoch oxydirt wird, nicht immer zutrifft.

Aber nicht allein bei der Verbindung eines Körpers mit Sauerstoff wird Wärme erzeugt. Auch die Entstehung anderer Verbindungen ist sehr häufig, wie ja als bekannt vorausgesetzt werden darf, mit einer Wärmeentwickelung, in einzelnen Fällen mit einem Wärmeverbrauche

verbunden; und die nämliche Wärmemenge kommt wieder im entgegengesetzten Sinne in Betracht, wenn die Verbindung zerlegt wird. Bei der Vereinigung (Legirung) von Eisen mit Mangan oder dieser Metalle mit Kohle, Silicium, Phosphor, Schwefel u. s. w., Vereinigungen, welche eine hochwichtige Rolle in der Metallurgie des Eisens spielen, bei der Entstehung und Zerlegung von Silicaten, Phosphaten u. s. w., bei der Zerlegung der Hydroxyde und Carbonate des Eisens und Mangans, welche wichtige Erzgattungen bilden, und in ähnlichen Fällen findet unzweifelhaft nicht selten Entwickelung oder Verbrauch von Wärme statt; aber unsere Kenntniss derselben ist ziemlich gleich Null, und der alte Spruch: „unser Wissen ist Stückwerk“ bewahrheitet sich kaum in einem anderen Gebiete der Eisenhüttenkunde so deutlich als hier.

Die Ziffern für die Verbrennungswärme der wichtigsten bei der Darstellung des Eisens in Betracht kommenden Körper sind, soweit unsere jetzige Kenntniss es gestattet, in Folgendem zusammengestellt.

Kohlenstoff. Nach dem verschiedenen Molekularzustande der Kohle (Graphit, Holzkohle, Diamant u. s. w.) ist, wie Favre und Silbermann fanden[1]), die Verbrennungswärme derselben nicht immer genau die nämliche und schwankt bei der Verbrennung zu Kohlensäure zwischen 7770 und 8080 W.-E. Der immerhin nicht sehr beträchtliche Unterschied kann bei den calorimetrischen Berechnungen eisenhüttenmännischer Processe um so weniger in Betracht kommen, als es sich hierbei aus den schon berührten Gründen überhaupt nur um Annäherungsergebnisse handeln kann, und man kann deshalb folgende Ziffern für derartige Berechnungen benutzen:

1 kg Kohlenstoff (im festen Zustande) entwickelt:

bei der Verbrennung mit $\frac{4}{3}$ kg Sauerstoff zu $\frac{7}{3}$ kg Kohlenoxyd **2473** W.-E.
„ „ „ „ $\frac{8}{3}$ „ „ „ $\frac{11}{3}$ „ Kohlensäure **8080** „

In beiden Fällen, es mag Verbrennung zu Kohlenoxyd oder zu Kohlensäure stattfinden, ist eine Vergasung des Kohlenstoffes erforderlich, welche einen Wärmeverbrauch erheischt. Hieraus erklärt sich der grosse Unterschied in der Wärmeleistung, je nachdem das eine oder andere Verbrennungserzeugniss gebildet wird. Nimmt man an — was in diesem Falle annähernd richtig sein dürfte —, dass gleiche Sauerstoffmengen gleiche Wärmemengen entwickeln, so ergiebt sich durch eine einfache Rechnung die Vergasungswärme des Kohlenstoffes gleich 3134 W.-E.; und es entwickelt alsdann 1 kg gasförmiger Kohlenstoff:

bei seiner Verbrennung zu Kohlenoxyd 2473 + 3134 = 5 607 W.-E.
„ „ „ „ Kohlensäure 8080 + 3134 = 11 214 „

Kohlenoxyd. Die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung desselben lässt sich aus dem Vorausgehenden ableiten. Da $\frac{7}{3}$ kg Kohlenoxyd bei der Verbrennung zu Kohlensäure 8080 — 2473 = 5607 W.-E. (der Verbrennungswärme von 1 kg gasförmigem Kohlenstoffe entsprechend) entwickeln, so liefert

1 kg Kohlenoxyd bei der Verbrennung mit $\frac{4}{7}$ kg Sauerstoff zu $\frac{11}{7}$ kg Kohlensäure **2403** W.-E.[2])

---

1) Annales de chimie et de physique, série III, tome XXXIV.

2) Nach Berthelot liefern $\frac{7}{3}$ kg Kohlenoxyd 5683 W.-E.; also 1 kg 2436 W.-E. Ann. de chimie et de physique, série V, tome XIII, p. 13.

Wasserstoff. Man nimmt als Verbrennungswärme desselben **29 161** W.-E. an, wenn Wasserdampf gebildet wird, **34 462** W.-E., wenn flüssiges Wasser entsteht.

Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff; natürliche Brennstoffe. Eine Ermittelung der Wärmeleistung dieser Körper durch einfache Berechnung gemäss ihrer chemischen Zusammensetzung ist nicht im Stande, richtige Ergebnisse zu liefern, da einestheils diejenige Wärmemenge unbekannt ist, welche bei der Entstehung beziehentlich Zerlegung dieser Verbindungen (welche häufig auch noch Sauerstoff und Stickstoff enthalten) in Betracht kommt, und da anderntheils bei festen oder flüssigen Körpern die ebenfalls unbekannte Vergasungswärme des Wasserstoffes zu berücksichtigen sein würde. Die durch Versuche ermittelten Ziffern für die Verbrennungswärme natürlicher Brennstoffe (Holz, Torf, Stein- und Braunkohlen) werden unten bei der Besprechung dieser letzteren mitgetheilt werden; für gasförmige Kohlenwasserstoffe, welche bei einigen Processen der Eisendarstellung eine, wenn auch nicht sehr wichtige, Rolle spielen, fanden Favre und Silbermann:

1 kg schweres Kohlenwasserstoffgas $C_2 H_4$ (Aethylen, Elayl, ölbildendes Gas) entwickelt bei der Verbrennung zu Kohlensäure und Wasserdampf **11 857** W.-E.;

1 kg leichtes Kohlenwasserstoffgas $C H_4$ (Sumpfgas, Methan) entwickelt bei der Verbrennung zu Kohlensäure und Wasserdampf **13 063** W.-E.

Eisen. Dasselbe besitzt bekanntlich mehrere Oxydationsstufen, und es ist wahrscheinlich, dass bei der Entstehung derselben die Wärmemenge nicht, wie es nach dem Welter'schen Gesetze der Fall sein würde, der verbrauchten Sauerstoffmenge proportional ist, sondern abweichend nach der Art jener Verbindungen.

Dulong fand bei der Verbrennung des Eisens mit Sauerstoff zu Eisenoxyduloxyd per 1 kg verbranntes Eisen 1648 W.-E.[1]); Andrews auf demselben Wege 1582 W.-E.[2]) Der Unterschied ist jedenfalls in dem Umstande begründet, dass bei der Verbrennung des Eisens nicht immer genau dieselbe Oxydationsstufe entsteht; eine Untersuchung des verbrannten Eisens auf seinen Sauerstoffgehalt fand aber in den erwähnten Fällen nicht statt. Da nun die höchste Oxydationsstufe, welche das Eisen bei der Verbrennung mit Sauerstoffgas einzugehen pflegt, nach der Formel $Fe_3 O_4$ zusammengesetzt ist, so lässt sich mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit annehmen, dass das Verbrennungserzeugniss bei Dulong's Versuch wenigstens annähernd jener Formel entsprochen haben wird, während bei Andrews' Versuchen ein etwas weniger hoch oxydirtes Eisen erfolgte. Die von Dulong gefundene Ziffer (**1648** W.-E. bei Verbrennung zu $Fe_3 O_4$) soll deshalb auch bei den späteren Berechnungen zu Grunde gelegt werden.

Bei Bildung von Eisenoxydul ($Fe O$) auf nassem Wege fanden Favre und Silbermann die Wärmeentwickelung per 1 kg Eisen

---

1) Poggendorff's Annalen Bd. 45, S. 161.
2) Ebend. Bd. 75, S. 45.

1352 W.-E.[1]) Da Eisenoxyduloxyd (Fe_3O_4) aus $FeO + Fe_2O_3$ bestehend gedacht werden kann, so ergiebt unter Benutzung der von Dulong, Favre und Silbermann gefundenen Ziffern eine einfache Rechnung die Wärmeentwickelung bei der Bildung des Eisenoxydes Fe_2O_3 per 1 kg oxydirtes Eisen (beziehentlich den Wärmeverbrauch zur Reduction dieser Verbindung) gleich **1796** W.-E.

Wir haben also im Ganzen folgende Werthe für die Verbrennungs- beziehentlich Reductionswärme des Eisens:

a) auf 1 kg Eisen bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Eisenoxydul FeO . .	**1352**	W.-E.
" " " " " " Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4	**1648**	"
" " " " " " Eisenoxyd Fe_2O_3 . .	**1796**	"

b) auf 1 kg verbrauchten, beziehentlich entzogenen, Sauerstoff bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Eisenoxydul FeO . .	**4732**	W.-E.
" " " " " " Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4	**4326**	"
" " " " " " Eisenoxyd Fe_2O_3 . .	**4190**	"

Mangan. So wichtig auch die Rolle ist, welche die Verbrennungswärme des Mangans bei manchen Processen der Eisendarstellung zu spielen hat, so dürftig sind bis jetzt die über das Maass dieser Wärme vorliegenden Ermittelungen. Die in der Natur vorkommenden oder auf künstlichem Wege darstellbaren Oxydationsstufen des Mangans sind noch zahlreicher als die des Eisens; es unterliegt kaum einem Zweifel, dass auch hier die Wärmeerzeugung durch gleiche Mengen Sauerstoff verschieden ist, je nachdem die eine oder andere Verbindung gebildet wird, und dass jene Verbrennungswärme durchschnittlich um so geringer ausfallen wird, je sauerstoffreicher das entstehende Oxyd ist.

Aus Untersuchungen von Thomsen[2]) lässt sich folgern, dass bei der Höheroxydation des Oxyduls MnO zu Mangansuperoxyd MnO_2 per 1 kg Sauerstoff 1344 W.-E. entwickelt werden. Die Verbrennungswärme des metallischen Mangans bei der Oxydation zu Manganoxydul MnO pflegt man, da hierüber jeder Versuch fehlt, in Rücksicht auf die annähernd übereinstimmenden Atomgewichte des Eisens und Mangans der Verbrennungswärme des Eisens gleich zu setzen; zahlreiche Vorgänge der Praxis weisen jedoch unwiderleglich darauf hin, dass sie ganz wesentlich höher ist. Man braucht nur gleiche Mengen manganarmen und manganreichen Eisens im Sauerstoffstrome zu verbrennen, um durch das bedeutend stärkere Erglühen des manganreicheren Eisens davon überzeugt zu werden; ähnliche Erscheinungen zeigen sich im Grossen bei der Verarbeitung manganreicher Eisensorten. Man wird der Wahrheit jedenfalls näher kommen, wenn man die bei der Oxydation von 1 kg Mangan zu MnO frei werdende Wärme zu 2000 W.-E., also die durch 1 kg Sauerstoff bei diesem Vorgange entwickelte Wärme zu 6875 W.-E. annimmt. Unter Benutzung dieser letzteren Ziffer sowie der von Thomsen gefundenen Oxydationswärme bei dem Uebergange

---

1) Annales de chimie et de physique, série III, tom. XXXIV.
2) Poggendorff's Annalen Bd. 151, S. 211.

von Mn O in $Mn O_2$ erhält man nun folgende Werthe für die Verbrennungs- beziehentlich Reductionswärme des Mangans:

a) auf 1 kg Mangan bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Manganoxydul Mn O . **2000** W.-E.
" " " " " " Mangansuperoxyd MnO_2 **2410** "

b) auf 1 kg verbrauchten, beziehentlich entzogenen Sauerstoff bezogen:

bei der Bildung oder Reduction von Manganoxydul Mn O . **6875** W.-E.
" " " " " " Mangansuperoxyd $Mn O_2$ **4110** "

Silicium. Bei den Vorgängen der Eisendarstellung spielt nur das eine Oxyd dieses Körpers, das Kieselsäureanhydrid $Si O_2$ (gewöhnlich kurzweg Kieselsäure genannt), eine Rolle. Nach Versuchen von Troost und Hautefeuille[1]) beträgt die Verbrennungswärme des Siliciums bei der Entstehung jener Verbindung **7830** W.-E. per 1 kg Silicium; also per 1 kg Sauerstoff **6850** W.-E.

Phosphor. 1 kg Phosphor entwickelt bei seiner Verbrennung zu Phosphorsäureanhydrid $P_2 O_5$ nach Dulong[2]) **5760** W.-E.; also 1 kg Sauerstoff **4500** W.-E.

b) Verbrennungstemperatur.

Die bei der Verbrennung entwickelte Wärme wird zunächst von den Verbrennungsproducten (incl. des Stickstoffes der benutzten atmosphärischen Luft, des überschüssig in das Gasgemenge geführten Sauerstoffes, der entstandenen Asche u. s. w.) aufgenommen, diese auf eine Temperatur erhitzend, welche abhängig ist von der Menge jener Verbrennungsproducte wie von ihrer specifischen Wärme. Bezeichnet man mit W die gesammte entwickelte Wärme in W.-E., mit T die Temperatur der Verbrennungsproducte (Verbrennungstemperatur), mit $Q_1 Q_2 Q_3 \ldots$ das Gewicht der Verbrennungsproducte, mit $s_1 s_2 s_3 \ldots$ die specifischen Wärmen derselben, so ist offenbar:

$$W = T\,(Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + Q_3 s_3 + \ldots)$$

und hieraus ergiebt sich die theoretische Verbrennungstemperatur

$$T = \frac{W}{Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + Q_3 s_3 + \ldots}.$$

Wenn z. B. Kohlenstoff von Null Grad Temperatur durch Luft von der nämlichen Temperatur zu Kohlenoxyd verbrannt wird, wobei nach Früherem 2473 W.-E. entwickelt werden, so bestehen die Verbrennungsproducte per 1 kg Kohlenstoff aus 2.33 kg Kohlenoxyd mit der specifischen Wärme 0.248 und 4.46 kg Stickstoff[3]) mit der specifischen Wärme 0.244; demnach würde die theoretische Verbrennungstemperatur sein:

$$T = \frac{2473}{2.33 \times 0.248 + 4.46 \times 0.244} = 1486^\circ \text{ C.}$$

---

1) Comptes rendus, T. LXX (1870), p. 254; Dingler's Polyt. Journal 1870, 1. Aprilheft.

2) Poggendorff's Annalen, Bd. 45, S. 461.

3) 1 kg Kohlenstoff bedarf zur Verbrennung $\frac{4}{3}$ kg Sauerstoff, welcher in der atmosphärischen Luft gemischt ist mit $\frac{4}{3} \cdot \frac{77}{23} = 4.46$ kg Stickstoff.

In Wirklichkeit wird diese theoretische Verbrennungstemperatur dadurch abgemindert, dass immer ein Theil der gesammten Wärme zur Erwärmung fremder Körper, der Ofenwände u. s. w. sofort verbraucht wird; dennoch giebt die obige Formel ein werthvolles Hilfsmittel, die bei Anwendung verschiedener Brennstoffe sich ergebenden Temperaturunterschiede vergleichsweise einander gegenüber zu stellen, um den Grad der Verwendbarkeit des einen oder anderen Brennstoffes für diesen oder jenen Zweck darnach zu bemessen.[1] Für die Einflüsse aber, welche hinsichtlich der Verbrennungstemperatur in Betracht kommen, lassen sich folgende Schlüsse aus jener Formel ableiten.

Es zeigt sich zunächst, dass die theoretische Verbrennungstemperatur unabhängig ist von der Menge des verbrauchten Brennstoffes; denn in dem nämlichen Verhältnisse steigt und fällt mit der Menge des Brennstoffes sowohl im Zähler der Formel die erzeugte Wärmemenge als im Nenner die Menge der Verbrennungserzeugnisse. Es lässt sich jedoch leicht ermessen, dass die wirkliche Temperatur in irgend einem Apparate durch Verbrennung reichlicherer Brennstoffmengen alsdann sofort gesteigert werden wird, wenn die Wärmeabgabe an fremde Körper, an die Ofenwände u. s. w. nicht in dem gleichen Maasse zunimmt, eine Erscheinung, die sich auch im gewöhnlichen Leben häufig beobachten lässt.

Eine erhebliche Steigerung der Temperatur muss eintreten, wenn man von aussen her, z. B. durch Vorwärmung der Verbrennungsluft oder der Brennstoffe Wärme, welche beim Verbrennungsprocesse nutzbar gemacht wird, zuführt; denn man erhält in diesem Falle ohne Vermehrung der Verbrennungsproducte eine grössere Wärmemenge bei Anwendung derselben Menge Brennstoff als vorher; der Werth W in obiger Formel wird grösser, während der Nenner unverändert bleibt, und die Zahl T muss daher in gleichem Verhältnisse mit W wachsen. In der Benutzung dieser Thatsache ist uns ein besonders für viele eisenhüttenmännische Processe wichtiges Hilfsmittel zur Erzeugung hoher Temperaturen gegeben.

Es sei z. B. in dem oben mitgetheilten Beispiele die zur Verbrennung bestimmte Kohle innerhalb eines mit Schmelzmaterialien und Kohlen gefüllten Ofens allmählich den aufsteigenden heissen Verbrennungsgasen entgegengerückt und dabei selbst schon auf eine Temperatur von 1200° C. erwärmt, ehe sie in den Verbrennungsraum des Ofens gelangt, und die specifische Wärme der Kohle sei 0.22, so dass also jedes Kilogramm Kohle schon $1200 \times 0.22 = 264$ W.-E. in den Verbrennungsraum mitbringt; ausserdem sei die zur Verbrennung bestimmte Luft in besonderen Apparaten auf 400° C. vorgewärmt und die specifische Wärme derselben 0.237, so dass die zur Verbrennung von 1 kg Kohle erforderliche Luftmenge ($1.33 + 4.46 = 5.79$ kg) dem Ofen $5.79 \times 400 \times 0.237 = 548$ W.-E. zuführt. Es ist dann die gesammte, bei Verbrennung von 1 kg Kohle gewonnene Wärmemenge $2473 + 264 + 548 = 3285$ W.-E., während die Menge der erfolgenden Verbrennungserzeugnisse die nämliche bleibt als in dem früheren Beispiele; daher die Verbrennungstemperatur

$$T = \frac{3285}{2.33 \times 0.248 + 4.46 \times 0.244} = 1973^\circ \text{ C.}$$

---

[1] Die theoretische Verbrennungstemperatur eines bestimmten Brennstoffes nennt man dessen pyrometrischen Wärmeeffect.

Das Beispiel lässt deutlich erkennen, wie erheblich schon durch eine mässige Vorwärmung der Verbrennungsluft die Temperatur gesteigert wird.

Wie die Wärmezuführung von aussen die Verbrennungstemperatur steigert, weil hier die gewonnene Wärmemenge ohne gleichzeitige Vermehrung der Verbrennungserzeugnisse vergrössert wird, so wirkt umgekehrt jede Vermehrung der Verbrennungsproducte ohne gleichzeitige entsprechende Vergrösserung der Wärmemenge auf eine Verminderung der Verbrennungstemperatur. Von zwei Brennstoffen mit gleicher Wärmeleistung wird im Allgemeinen derjenige die höhere Verbrennungstemperatur liefern, welcher die geringere Luftmenge zur Verbrennung gebraucht; jede überschüssig in das Gemisch der Verbrennungsgase geführte Luftmenge erniedrigt die Verbrennungstemperatur. Nach Früherem aber ist eine vollständige Verbrennung, welche allein die volle Ausnutzung des Brennstoffes gestattet, ohne einen Sauerstoffüberschuss nicht erreichbar, und letzterer wiederum kann geringer ausfallen, wenn die Temperatur in dem Verbrennungsraume hoch ist. Hieraus ergiebt sich ein zweiter günstiger Einfluss jener oben erwähnten Vermehrung der Wärme durch Zuführung von aussen (Vorwärmung der Brennstoffe, der Luft u. s. w.); indem man zunächst unmittelbar eine Temperatursteigerung hervorruft, wie bereits nachgewiesen wurde, erleichtert man die Verbrennung, ermöglicht also die Abminderung des erforderlichen Sauerstoffüberschusses und erhöht dadurch abermals die Temperatur, bis eben eine Grenze erreicht ist, wo andere Vorgänge, insbesondere die schon früher erwähnte Dissociation der Verbrennungsgase, einer weiteren Steigerung ein Ziel setzen.

Neben überschüssiger Luft wirkt auch Wasserdampf, welcher, dem Wassergehalte des Brennstoffes oder der Verbrennungsluft entstammend, unzersetzt in das Gasgemisch geführt wurde, erniedrigend auf die Verbrennungstemperatur, und zwar sehr kräftig, da seine specifische Wärme (0.475) beträchtlicher ist als die irgend eines anderen gasförmigen Verbrennungserzeugnisses. Es erklärt sich hieraus leicht, dass wasserreiche Brennstoffe niemals fähig sind, hohe Verbrennungstemperaturen zu liefern.

Umgekehrt würde aus den nämlichen Gründen eine beträchtliche Erhöhung der Verbrennungstemperatur zu erzielen sein, wenn es möglich wäre, der Verbrennungsluft den Stickstoffgehalt ganz oder doch theilweise zu entziehen (beziehentlich den Sauerstoffgehalt derselben anzureichern), und mit weit geringerem Sauerstoffüberschusse würde in diesem Falle die vollständige Verbrennung ermöglicht werden können. Leider ist bis jetzt kein Mittel, dessen Benutzung im Grossen ausreichend billig wäre, zur Erreichung dieses Zieles bekannt.

4. Wärmeabgabe.

In den meisten Fällen ist die Erwärmung fremder Körper, durch Wärmeabgabe an dieselben bewirkt, der nächste Zweck bei der Wärmeentwickelung durch Verbrennung eines Brennstoffes. Die wärmeabgebenden Körper sind die Verbrennungserzeugnisse und daher

meistens — bei den Brennstoffen im engeren Sinne regelmässig — gasförmig. Verschiedene Umstände können die Wärmeabgabe beeinflussen. Sie wird begünstigt:

1. Durch grosse Temperaturdifferenz der wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Körper; also allgemein durch eine hohe Temperatur der ersteren. Bezeichnet t die Temperaturdifferenz, so steigert sich nach Versuchen von Dulong und Petit bei der Zunahme derselben die Geschwindigkeit der Wärmeabgabe in dem Verhältnisse $t^{1 \cdot 232}$. Es folgt hieraus, dass alle jene besprochenen Mittel, welche die Erzielung hoher Verbrennungstemperaturen bewirken, auch die Wärmeabgabe begünstigen.

2. Durch längere Zeitdauer der Einwirkung. Dieser Satz bedarf keines Beweises, erklärt aber mancherlei Vorkommnisse der Praxis. Je länger die Verbrennungsgase innerhalb eines Ofens mit den zu erhitzenden Körpern in Berührung bleiben, desto mehr Wärme können sie an diese abgeben, desto abgekühlter verlassen sie selbst den Ofen.

3. Durch grosse Berührungsfläche zwischen den wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Körpern.

4. Durch ein grosses Wärmeleitungsvermögen der zu erwärmenden Körper, welche die Wärme zunächst an ihrer Aussenfläche aufnehmen und dann nach den inneren Theilen hin fortpflanzen.

5. Durch grosse specifische Wärme der wärmeaufnehmenden Körper. Sie nehmen um so grössere Wärmemengen auf und werden um so langsamer erwärmt werden, entziehen also den Verbrennungserzeugnissen um so grössere Wärmemengen, je grösser ihre specifische Wärme ist.

6. Durch entgegengesetzte Bewegung der zu erwärmenden und der wärmeabgebenden Körper. Dieser unter dem Namen **Gegenstromprincip** bekannte Lehrsatz ist von grösster Bedeutung für die Wärmeabgabe bei irgend einem Processe. Man erreicht bei diesem Vorgange nicht allein eine längere gegenseitige Einwirkung, sondern, was noch wichtiger ist, man bewirkt, dass die Temperaturdifferenzen zwischen beiden Körpern weniger rasch als im andern Falle ausgeglichen werden. Denkt man sich an dem einen Ende eines geschlossenen Apparates (Ofens) die heissen Verbrennungsgase eintreten und den am entgegengesetzten Ende eintretenden, zu erwärmenden Körpern entgegenrücken, so werden sie auf ihrem Wege ununterbrochen Wärme an diese abgeben können und bei ausreichend langer Einwirkung den Ofen im fast, d. h. auf die Anfangstemperatur des zu erwärmenden Körpers, abgekühlten Zustande verlassen können; treten aber beide an derselben Stelle ein und bewegen sich in gleicher Richtung oder verharrt der zu erwärmende Körper in Ruhe, so können die wärmeabgebenden Körper natürlicherweise stets nur auf diejenige Temperatur abgekühlt werden, welche bei der gegenseitigen Einwirkung jener Körper selbst annimmt, die Erhitzung dieses letzteren (welche im ersteren Falle bis fast auf die Anfangstemperatur der wärmeabgebenden Körper gesteigert werden kann) ist geringer, die Wärmeausnutzung erheblich ungünstiger.

Literatur.

Ueber die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung und die Methoden zur Ermittelung derselben giebt jedes grössere Handbuch der Physik Auskunft. Ausführlicheres, besonders über die in Vorstehendem behandelten Verbrennungserscheinungen, findet der Leser in:

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von Franz Kupelwieser. Paris 1877, S. 43—70.

A. Ledebur, Die Oefen für metallurgische Processe. Freiberg 1878, S. 1—23.

E. F. Dürre, Allgemeine Hüttenkunde. Leipzig 1877, S. 259—275.

C. Schinz, Dokumente betreffend den Hohofen. Berlin 1868.

Abhandlungen.

A. Ledebur, Reduction und Oxydation. Berg- und hüttenm. Ztg. 1879, S. 393.

R. Åkerman, Verhalten von oxydirtem und metallischem Eisen zu Kohlenoxyd, Wasser und Wasserstoff. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 425.

A. Ledebur, Wird bei der Verbrennung von Kohle durch hohe Temperatur Kohlensäure- oder Kohlenoxydgasbildung befördert? „Stahl und Eisen", 1882, S. 356.

III. Die Brennstoffe.

Unter der Bezeichnung Brennstoff im weiteren Sinne kann man jeden Körper verstehen, durch dessen Verbrennung nutzbare Wärme geliefert wird, und von diesem Gesichtspunkte aus lassen sich auch Eisen, Mangan, Silicium, Phosphor unter die Brennstoffe des Eisenhüttenmannes zählen; denn die von letzteren Körpern bei ihrer Verbrennung entwickelte Wärme spielt thatsächlich eine wichtige Rolle bei einzelnen Processen der Eisendarstellung, und ohne diese Wärmeentwickelung würden die betreffenden Processe mitunter unausführbar sein.

In Folgendem soll jedoch nur von denjenigen Brennstoffen die Rede sein, welche auch im engeren Sinne diese Bezeichnung verdienen, insofern die Wärmeentwickelung den hauptsächlichsten oder doch vornehmsten Zweck ihrer Verwendung bildet.

1. Das Holz.

Dasselbe besteht im Wesentlichen aus der eigentlichen Holzsubstanz, der Cellulose, nach der chemischen Formel $C_6H_{10}O_5$ zusammengesetzt; aus einer gewissen Menge anorganischer Körper, welche beim Verbrennen als Asche zurückbleiben; und aus Wasser.

Der Aschengehalt beträgt durchschnittlich 1 Proc., zeigt übrigens auch an dem Holze von einem und demselben Baume Abweichungen und ist am stärksten in den Wurzeln und Blättern. Die Asche enthält vorzugsweise kohlensaures Calcium (50—70 Proc.), daneben kohlensaure

Alkalien (bis 25 Proc.), Kieselsäure (deren Gehalt zwischen 2—13 Proc. zu schwanken pflegt), sowie kleinere Mengen von schwefelsauren und phosphorsauren Salzen. Der Phosphorgehalt wird selten über 2 Proc. hinausgehen und ist gewöhnlich noch geringer.

Der Wassergehalt des Holzes ist nicht nur bei verschiedenen Holzarten verschieden, sondern lässt sich auch durch längeres Lagern des gefällten Holzes an der Luft verringern. Frisch gefälltes älteres Holz enthält durchschnittlich:

Hainbuche	19	Proc.	Wasser
Ahorn	27	„	„
Esche	29	„	„
Birke	31	„	„
Eiche	35	„	„
Buche	40	„	„
Kiefer	40	„	„
Fichte	45	„	„
Lärche	49	„	„

Bei jüngeren Bäumen dagegen steigt mitunter der Wassergehalt bis auf 60 Proc.

Beim längeren (mindestens zweijährigen) Lagern des gespaltenen Holzes an einem trockenen, aber luftigen Orte vermindert sich allmählich der Wassergehalt bis auf etwa 20, bei einzelnen Holzsorten 17 Proc.; eine weitere Austrocknung ist nur möglich, wenn das Holz bei einer Temperatur zwischen 125—150° C. getrocknet wird. Die Zusammensetzung dieses vollständig trockenen, demnach nur noch aus Cellulose, Asche und den stickstoffhaltigen Resten des Saftes bestehenden Holzes ist durchschnittlich folgende:

Kohlenstoff	49.7	Proc.
Wasserstoff	6.0	„
Sauerstoff	41.3	„
Stickstoff	1.1	„
Asche	1.9	„
	100.0	Proc.

und zeigt überhaupt bei den verschiedenen Holzsorten keine grossen Unterschiede.

Die Zusammensetzung des lufttrockenen Holzes lässt sich hieraus unschwer berechnen, wenn man den Wassergehalt desselben von durchschnittlich 20 Proc. hinzurechnet.

Erhitzt man das Holz stärker als auf 150° C., so tritt Zersetzung ein.

Das Holz von den Laubholzbäumen, insbesondere von der Buche, Eiche, Ulme, Birke pflegt man *hartes*, dasjenige von den Nadelholzbäumen sowie auch von der Linde, Weide, Pappel *weiches* Holz zu nennen.

Das **Gewicht des lufttrockenen Holzes** per cbm (incl. der Zwischenräume zwischen den einzelnen Stücken) beträgt:

bei hartem Holze 350—450 kg
„ weichem „ 250—300 „

und schwankt nach der Form und Grösse der Holzstücke, wie nach dem noch vorhandenen Wassergehalte.

Wärmeleistung. Dieselbe, auf die Gewichtseinheit (1 kg) des Holzes bezogen, fällt natürlicherweise um so grösser aus, je geringer

der Wassergehalt, je trockener also das betreffende Holz ist. Als Durchschnittswerthe kann man annehmen[1]):

für vollständig trockenes Holz (ohne jeden Wassergehalt) 3800 W.-E.
„ lufttrockenes Holz mit 20 Proc. Wasser 2900 W.-E.

Darren des Holzes. Der selbst im lufttrockenen Holze noch ziemlich beträchtliche Wassergehalt verringert nicht allein, wie sich aus Vorstehendem ergiebt, nicht unbeträchtlich die Wärmeleistungsfähigkeit des Holzes, sondern auch, indem er in die Verbrennungserzeugnisse übergeht und hier Wärme aufnimmt, in sehr erheblicher Weise die bei der Verbrennung des Holzes erreichbare Temperatur. Für Processe, zu deren Durchführung eine hohe Temperatur Bedingung ist, lässt sich das Holz demnach nur verwenden, wenn man ihm durch einen künstlichen Trocknungsprocess bei einer Temperatur von etwas über 100° C. die grössere Menge des ihm im lufttrockenen Zustande noch gebliebenen Wassers entzieht. Hierdurch allerdings werden die Kosten des Brennmateriales nicht unerheblich gesteigert.

Man benutzt zum Darren gemauerte Kammern, welche in irgend einer Weise auf die erforderliche Temperatur erhitzt werden und in welchen das Holz, welches am zweckmässigsten auf leichten eisernen Wagen sich befindet, bis zur beendigten Trocknung belassen wird. Für genügenden Luftwechsel zur Ableitung der sich bildenden Wasserdämpfe muss natürlich gesorgt werden. In einzelnen Fällen benutzt man erhitzten Gebläsewind zum Trocknen, welcher durch Röhren in die Kammern geführt wird; in anderen bringt man an einer passenden Stelle der Kammer eine Rostfeuerung an und führt die Verbrennungsgase durch die Kammer selbst hindurch, wobei sie das aus dem Holze verflüchtigte Wasser mitnehmen; oder man legt ein System eiserner Röhren in die Kammer, durch welches die Verbrennungsgase hindurchziehen, solcherart mittelbar die Kammer erwärmend.

Infolge der raschen Ausdehnung der Verkehrsmittel verliert das immerhin ziemlich kostspielige Holz als Brennstoff für die Eisenindustrie von Jahr zu Jahr an Wichtigkeit und wird durch mineralische Brennstoffe selbst in solchen Gegenden ersetzt, wohin diese aus entlegeneren Gegenden geschafft werden müssen.

2. Die Holzkohle.

Darstellung.

Wenn man Holz bei Luftabschluss auf eine Temperatur von über 150° C. erhitzt, so tritt, wie schon erwähnt, Zersetzung ein, sauerstoffhaltige Destillationserzeugnisse werden verflüchtigt und das Holz wird braun; steigert man die Temperatur auf 300—350° C., so entweichen theerige Bildungen, Holzessig, aber auch Kohlenoxyd nebst Kohlensäure, und als schwarzer Rückstand hinterbleibt die bekannte Holzkohle.

Für die Durchführung des Verkohlungsprocesses giebt es im Wesentlichen drei Methoden.

---

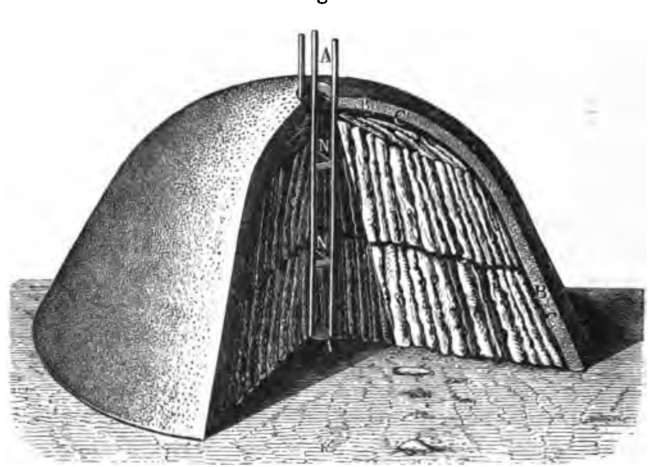
1) Th. Erhard, Tabellen zur Feuerungskunde, Freiberg 1878.

a) Verkohlung in Meilern.

Es ist dieses die ältere und in Europa auch noch jetzt üblichere Methode der Holzkohlendarstellung. Ein Meiler ist ein nach bestimmten Regeln aufgestellter Holzhaufen, welcher im Innern entzündet, ringsum aber durch eine Decke aus Rasen oder dergleichen eingehüllt ist, so dass die Verbrennung, deren Verlauf durch Luftlöcher in der Decke geregelt werden kann, immerhin nur eine sehr beschränkte bleibt und nur soweit ausgedehnt wird, als für die zur Zersetzung des Holzes nothwendige Wärmeentwickelung nothwendig ist.

Fig. 1 stellt die üblichste Form eines für Holzkohlendarstellung bestimmten Meilers dar. Zur Herstellung desselben wird zunächst der Boden der Kohlen- oder Meilerstätte geebnet und festgestampft, sofern

Fig. 1.



nicht von früheren Verkohlungen her noch eine Stätte verfügbar ist (alte Meilerstätten eignen sich besser als neue, da letztere sehr leicht Veranlassung zu ungleichmässigem Zuge geben). In der Mitte der Stätte werden dann zunächst zwei oder drei „Quandelpfähle" *A*, die man wohl durch Spreizen *N* auseinander hält und durch Weidenruthen aneinander befestigt, aufgestellt. Den Raum zwischen den Quandelpfählen füllt man mit trockenem Reisig oder dergl. aus; an dem Fusse derselben werden ringsherum einzelne trockene Brettchen auf die hohe Kante gestellt, um das Anzünden zu erleichtern, und beim Aufbauen (Richten) des Meilers legt man von hier aus am Boden der Stätte radial gegen den Umfang ein starkes Holz ein, welches später herausgezogen wird und hierbei einen von aussen nach innen führenden Canal, die Zündgasse, offen lässt, durch welche das Anzünden der im Quandel angehäuften Brennstoffe bewirkt wird. Nun werden, wie es die Abbildung darstellt, die zu verkohlenden Holzstücke rings um die Quandelpfähle her und zwar möglichst dicht neben einander aufgestellt; zu oberst bildet man die Haube aus kleineren Holzstücken, so dass das Ganze

annähernd paraboloidische Form erhält. Die gesammte Höhe eines Meilers pflegt 3—4 m zu sein, der gesammte Rauminhalt 100—150 cbm; in einzelnen Fällen allerdings sind die Meiler erheblich kleiner und in anderen beträgt ihr Inhalt bis zu 300 cbm.

Ist der Meiler gerichtet, so füllt man die Zwischenräume zwischen den einzelnen Scheiten im Umfange durch Einlegen dünnerer Holzstücke möglichst dicht aus und geht dann daran, ihn, wie schon erwähnt, mit Rasen, Laub, Moos, Nadelholzreisig oder dergl. zu decken. Ringsum am Fusse lässt man bis zu einer Höhe von etwa 15 cm die Decke fehlen und schützt sie vor dem Hinuntergleiten durch eine auf Steinen ruhende Umfassung von Aesten oder dünnen Holzscheiten, den Fussrüsten oder Unterrüsten. Schliesslich wird der fertig gedeckte Meiler noch mit einem „Bewurfe" aus Erde, am besten gemischt mit sogenannter „Stübbe" (Holzkohlenklein von früheren Meilern), versehen, den man in einer Stärke von 3—12 cm mit der Schaufel anwirft, und ist dann, nachdem man noch an der dem herrschenden Winde vorzugsweise ausgesetzten Seite des Meilers ein Windschauer, gewöhnlich eine aus Reisig gefertigte Wand, aufgestellt hat, zum Anzünden fertig. In der Abbildung stellt die mit *B* bezeichnete Lage die Decke, die äusserste schwarze Schicht den Bewurf des Meilers dar.

Kurze Zeit nachdem das Anzünden durch die Zündgasse bewerkstelligt worden ist, wird letztere sowie der Fuss des Meilers zugeworfen, und der Köhler regelt nun durch Anbringung sogenannter Räumlöcher das Feuer derartig, dass der Brand sich allmählich von der Spitze nach dem Fusse hin ausbreitet. Jene Räumlöcher sind Oeffnungen, welche mit dem Stiele einer Schaufel durch den Bewurf und die Decke hindurch bis auf das Holz gestossen und gürtelförmig rings um den Meiler herum gewöhnlich in zwei Reihen übereinander angeordnet werden. Durch Zuwerfen einer oberen Reihe und Einstossen einer neuen weiter unten zieht man das Feuer nach und nach abwärts. Im Anfange des Processes entstehen durch heftig entweichende Dämpfe mitunter Explosionen (Schütten des Meilers), durch welche ein Theil der Decke abgeworfen wird, und in solchen Fällen ist natürlicherweise alle Aufmerksamkeit und eine sofortige Wiederherstellung der Decke erforderlich, damit nicht der Meiler durch die eindringende Luft in Flammen gerathe; beim Verkohlen selbst schwindet der Meiler, es entstehen an einzelnen Stellen hohle Räume und werden durch Nachfüllen frischen Holzes geschlossen. Ein gleichmässiges Zusammenschwinden ist natürlich nicht zu vermeiden, und ein besonderer Vortheil der beschriebenen Decke solcher Meiler liegt in dem Umstande, dass sie, der eintretenden Formveränderung folgend, in jedem Zeitabschnitte der Verkohlung den Meiler gleich gut bedeckt hält. An der lichteren Farbe des Rauches erkennt schliesslich der Köhler, dass der Meiler „gaar", d. h. dass die Verkohlung beendet ist. Die Decke wird nun sorgfältig geschlossen, um das Feuer zu ersticken; dann folgt als letzte Arbeit das Kohlenziehen, wobei täglich nur ungefähr 3 cbm Holzkohlen an einer und derselben Stelle heraus geholt werden. Die Stelle wird dann wieder gut verschlossen, damit nicht Entzündung des ganzen Meilers eintrete.

Die Zeitdauer der Verkohlung eines mittelgrossen Meilers pflegt 15 bis 20 Tage zu betragen.

Abweichend von dem beschriebenen Verfahren der Meilerverkohlung verkohlt man in einzelnen Gegenden, jedoch seltener, die Holzscheite liegend, zu Haufen von trapezförmigem Querschnitte und rechteckiger Grundfläche aufgeschichtet (Haufenverkohlung oder Verkohlung in liegenden Meilern).

Da selbst bei völligem Luftabschlusse, wie er in Meilern niemals zu erreichen ist, ein Theil des Kohlenstoffes des Holzes in chemischer Verbindung mit dem Sauerstoff- und Wasserstoffgehalte desselben entweicht, so folgt von selbst, dass das Ausbringen an Holzkohlen niemals den Kohlenstoffgehalt des benutzten Holzes auch nur annähernd erreichen kann. Dasselbe beträgt durchschnittlich 22 Proc. von dem Holzgewichte; es ist grösser bei langsamer als bei allzusehr beschleunigter Verkohlung, grösser bei älterem und trockenem als bei jungem und nassem Holze, und fällt in einzelnen Fällen auf 17 Proc., während es in anderen bis auf 28 Proc. steigen kann. Dem Gemässe nach erhält man aus 1 cbm Holz etwa 0.6 cbm Holzkohlen (beides incl. Zwischenräume gemessen).

Da die Meilerverkohlung im Walde unweit der Gewinnungsstätte des Holzes vor sich gehen kann, und das Gewichtsverhältniss zwischen erfolgenden Kohlen und verbrauchtem Holze, den soeben mitgetheilten Ziffern zufolge, ein geringes ist, so erspart man durch diese Methode gegenüber der Verkohlung an einer Centralstelle, z. B. auf der Hütte, nicht unbeträchtlich an Fracht, ein Umstand, welcher um so schwerer ins Gewicht fällt, je grösser die Entfernungen und je beschränkter die Verkehrsmittel sind. Die Beschaffenheit der Meilerkohlen ist bei richtiger Leitung des Processes vortrefflich. Die Destillationserzeugnisse aber (Holzessig u. s. w.) gehen bei der Meilerverkohlung ungenutzt verloren, und eine Gewinnung derselben in lohnender Weise dürfte in Rücksicht auf die besonderen Eigenthümlichkeiten des Verfahrens kaum möglich sein, obgleich verschiedentlich dahin zielende Versuche gemacht worden sind (Einstecken von Röhren in den Meiler zur Ableitung und Condensation der sauren Dämpfe u. s. w.).

b) Verkohlung in Oefen.

Die Thatsache, dass bei der Meilerverkohlung eine fast unausgesetzte Beaufsichtigung des Meilers zur Verhütung einer Entzündung desselben erforderlich ist, ein Umstand, welcher die Thätigkeit des Köhlers zu einer sehr anstrengenden macht, und dass trotzdem bei aller Umsicht das Ausbringen an Holzkohle immerhin ein ziemlich geringes bleibt, gab wohl zuerst Veranlassung zur Anwendung von Oefen, d. h. geschlossener Räume, in welchen der Process der Verkohlung in ganz ähnlicher Weise wie bei einem Meiler verläuft, bei welchen aber die bewegliche Meilerdecke durch die gemauerte Umfassung ersetzt und somit die Gefahr vermieden ist, dass durch unbeachtetes Ablösen der Decke die Luft Zutritt erhält und den Meiler ganz oder theilweise entzündet.

In Europa ist das Verfahren verhältnissmässig selten, häufig dagegen finden sich Verkohlungsöfen in Nordamerika, wohin die Ofen-

verkohlung ursprünglich aus Schweden verpflanzt wurde. Diese Oefen haben entweder rechteckige Grundform, sind oben durch ein Tonnengewölbe überspannt und etwa 15 m lang, 3.5 bis 5 m breit und ebenso hoch; oder sie sind cylindrisch gebaut und oben durch ein Kuppelgewölbe abgedeckt bei 8.5 m Durchmesser, und 3.5 m Höhe bis zum Gewölbe; oder endlich sie haben Kegelform bei 8.5 bis 9 m Durchmesser an der Grundfläche und 6 bis 8.5 m Höhe. Sämmtliche Oefen haben unten rings herum in den Umfassungswänden zwei oder drei Reihen von Oeffnungen zur Regulirung des Luftzutrittes.

Eine Gewinnung der Destillationserzeugnisse findet, wenigstens bei den nordamerikanischen Verkohlungsöfen, nicht statt; anderweitig angestellte Versuche, durch Einbauen von Röhren in die Ofenwände Gelegenheit zur Ableitung und Condensation der Dämpfe zu geben, scheinen einen befriedigenden Erfolg nicht gehabt zu haben, vermuthlich wegen Benachtheiligung der Güte der Kohlen und Verringerung des Ausbringens.

Die Verkohlungsöfen erheischen, wie sich von selbst versteht, ein bestimmtes Anlagekapital, welches amortisirt werden muss, und alljährliche Ausgaben der Unterhaltung, also Kosten, welche bei der Meilerverkohlung wegfallen; das Holz muss nach den Oefen transportirt werden, und je weiter die Entfernung ist, desto empfindlicher wird der Unterschied in den Kosten für den Transport des Holzes und der Kohlen sich geltend machen; dagegen ist das Ausbringen an Holzkohlen in den Oefen unleugbar höher und beziffert sich auf 30 bis 50 Proc. Die Güte der ausgebrachten Kohlen aber ist nach dem Urtheile amerikanischer Eisenhüttenleute durchschnittlich geringer als die der Meilerkohlen. Egleston bestreitet[1]), dass dieser Uebelstand eine Folge der Ofenverkohlung an und für sich sei, und ist der Meinung, dass der Grund hierfür lediglich in der üblichen zu starken Beschleunigung des Processes zu suchen sei. Verkohlt man ausreichend langsam, so sei die Güte der Kohlen mindestens die nämliche wie bei Meilerkohlen, das Ausbringen um 15 bis 20 Proc. höher, der bei der Meilerverkohlung unvermeidliche Verlust an Holzkohlen bei dem weiten Transporte vermieden, die Arbeitslöhne geringer.

c) Verkohlung in Retorten.

Das Bestreben, die bei der Zersetzung des Holzes auftretenden Destillationserzeugnisse, insbesondere den Holzessig, zu gewinnen und nutzbar zu machen, führte schon vor geraumer Zeit zu der Anwendung von Retorten für die Verkohlung, d. h. von geschlossenen Behältern, welche von aussen durch besondere Feuerung erhitzt werden und aus welchen die sich verflüchtigenden Zersetzungsgebilde durch Röhren unschwer nach Condensationsapparaten geführt werden können. In den allermeisten Fällen beschränkte sich allerdings die Anwendung dieses Verfahrens auf solche Verhältnisse, wo die Gewinnung des Holzessigs u. s. w. Hauptzweck und die Gewinnung der Holzkohlen nur ein Nebenzweck ist; indessen hat man verschiedentlich die Einführung auch auf Eisenwerken empfohlen. Thatsächlich ist, soweit meine Kenntniss reicht,

1) Vergl. die unten angeführte Literatur.

in Deutschland nur eine einzige derartige Anlage ins Leben getreten (Rübeland am Harz).

Aus 1 cbm Holz erhält man nach Gillot als Enderzeugnisse der Retortenverkohlung sowie einer Reihe von Zwischenprocessen zur Verarbeitung der zuerst übergegangenen Destillationsgebilde 75 kg Holzkohle, 47.5 kg reine 40procentige Essigsäure, 6 kg Holzgeist, 3 kg Theeröl.

Den Erträgen für diese chemischen Erzeugnisse ausser Holzkohle stehen jedoch die Mehrkosten für den Transport des Holzes, die Amortisations- und Unterhaltungskosten der Anlage, die Betriebskosten für die Durchführung der chemischen Processe, der Brennstoffverbrauch zum Heizen der Retorten, vor allem aber die Thatsache gegenüber, dass die Retortenkohlen einen geringeren Heizwerth besitzen als die Meilerkohlen, und dass der Verbrauch an denselben für den gleichen Zweck mithin ein grösserer ist als an letzteren. Der Vortheil eines etwas reichlicheren Ausbringens durch die Retortenverkohlung gegenüber der Meilerverkohlung wird also durch die geringwerthigere Beschaffenheit der ausgebrachten Kohlen annähernd ausgeglichen werden; ob der Werth der zu erlangenden Essigsäure u. s. w. ausreichend sein wird, die Einführung des Verfahrens für Eisenwerke an Stelle der Meilerverkohlung zu rechtfertigen, wird von den örtlichen Verhältnissen abhängig bleiben. Jedenfalls ist in Rücksicht auf den schon erwähnten Umstand, dass die Benutzung des Holzes und der Holzkohle für die Zwecke der Eisenindustrie sich von Jahr zu Jahr mehr verringert, je mehr die Verkehrsmittel sich ausdehnen, eine umfangreichere Einführung der Retortenverkohlung auf den Eisenwerken nicht mehr zu erwarten.

Eigenschaften der Holzkohle.

Die Holzkohle, obschon ihrer Natur nach im Wesentlichen aus reiner Kohlensubstanz bestehend, enthält doch stets ausser den Aschenbestandtheilen des Holzes noch gewisse Mengen Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, selbst wenn sie bei Weissgluth, also bei weit höherer Temperatur dargestellt wurde, als in den beschriebenen Verkohlungsapparaten erreicht wird; beim Lagern an der Luft aber nimmt dieselbe ziemlich rasch eine nicht unbeträchtliche Menge von Wasserdampf und Gasen auf. Die durchschnittliche Zusammensetzung lufttrockener Holzkohle kann angenommen werden zu:

Kohlenstoff	80.1	Proc.
Wasserstoff	1.8	„
Sauerstoff und Stickstoff	3.1	„
Hygroskopisches Wasser	12.0	„
Asche	3.0	„ ;

ihre Wärmeleistungsfähigkeit zu 6900 W.-E.

Das Gewicht eines Cubikmeters Holzkohle in Stücken (incl. der Zwischenräume) beträgt nach Gruner:

bei Tannenkohle	125—140 kg
„ Fichtenkohle	140—180 „
„ harter Laubholzkohle	200—240 „

Die niederen Ziffern entsprechen Holzkohlen aus rasch gewachsenen Hölzern oder bei fehlerhaftem Betriebe (zu rascher Kohlung) erzeugt;

die höheren Ziffern dagegen erhält man bei Holzkohlen aus älteren, langsam gewachsenen Hölzern und bei nicht allzu beschleunigtem Betriebe.

Gute Holzkohle ist tiefschwarz, hart, klingend, wenig abfärbend; war sie bei allzu raschem Betriebe oder bei Luftzutritt erzeugt, so ist sie mürbe, zerreiblich, abfärbend und besitzt geringen Brennwerth; Kohlen, die bei zu niedriger Temperatur gewonnen waren, also gewissermaassen aus unvollständig verkohltem Holze bestehen, haben braune Farbe, grosse Festigkeit, brennen, wenn sie entzündet werden, mit Flamme und heissen Bränder.

Beim Lagern im Schuppen erleidet die Holzkohle theils durch Verkrümelung, theils auch wohl durch langsame Oxydation zu Kohlensäure einen Verlust, der 5 Proc. und darüber betragen kann (Krümpfeverlust).

3. Der Torf.

Der Torf ist das noch jetzt sich bildende Erzeugniss der Zersetzung gewisser Gattungen von Pflanzen unter dem Einflusse von Luft und Wasser, wobei aus der Pflanzensubstanz Sauerstoff austritt und der Kohlenstoffgehalt sich anreichert, zugleich aber eine reichliche Wassermenge aufgenommen wird, während die mechanische Vermengung mit zugeführten schlammigen Massen Veranlassung zu einem bedeutenden Aschengehalte giebt.

Vorzugsweise findet sich Torf in der gemässigten Zone und zwar theils in Thälern, theils auf Hochebenen. Besonders reich an Torf ist Deutschland, sowohl Nord- als Süddeutschland, wo derselbe in manchen Gegenden einen auch für metallurgische Zwecke vielfach benutzten Brennstoff bildet; auch Frankreich, Grossbritannien, Russland, Skandinavien besitzen ausgedehnte Torflager.

Die Gewinnung des Torfes geschieht durch Hand- oder Maschinenarbeit. Bei der ersteren wird derselbe, sofern er die genügende Festigkeit besitzt (unter Umständen nach vorausgegangener Entwässerung des Torfmoores) mit entsprechend geformten Spaten in prismatischen Stücken ausgestochen, um im Freien oder luftigen Schuppen getrocknet zu werden (Stechtorf); gestattet aber die Eigenthümlichkeit der Torfmasse eine Gewinnung in dieser Weise nicht (wegen breiiger, ungleichmässiger Beschaffenheit), so gräbt man dieselbe aus, mischt sie in einer Grube durch Treten mit den Füssen oder Schlagen mit Werkzeugen durch einander und streicht nun entweder diesen Torfbrei in Formen, um die solcherart gewonnenen prismatischen Stücke (Torfziegel) zu trocknen (Streichtorf, Modeltorf), oder man breitet eine grössere Menge desselben auf dem geschlichteten Torffelde aus, überlässt ihn hier einige Zeit der Trocknung, dichtet ihn hierauf durch Treten oder Schlagen und schneidet ihn mit langen Messern in einzelne Stücken, welche nunmehr, um vollends lufttrocken zu werden, in Haufen zusammengestellt werden (Backtorf, Breitorf). Die Gewinnungskosten des Streich- und Backtorfes sind um 15—20 Proc. höher als die des Stechtorfes, wogegen jene Sorten sich durch grössere Dichtigkeit und Festigkeit vor diesem auszeichnen.

Die zur Gewinnung des Torfes benutzten Maschinen sind ziemlich mannigfacher Art. Während die älteren derselben sich darauf beschränken, den Torf zu stechen und herauszuheben, sind die neueren mit Einrichtungen versehen, um die Fasern des herausgehobenen Torfes mit Messern zu zerschneiden, die Masse — ähnlich wie es bei der Back- und Streichtorfanfertigung durch Handarbeit geschieht — innig durch einander zu mischen, in einzelnen Fällen auch wohl zu schlämmen, wenn anorganische Beimengungen entfernt werden sollen, und dann entweder unter mässigem Drucke in Stücke zu formen (Presstorf) oder nach vorausgegangener Beimengung von Wasser auf einem Trockenfelde gleichmässig auszubreiten, so dass dann später, wie bei der Handarbeit, die einzelnen Stücke daraus geschnitten werden (Maschinenbacktorf). Hinsichtlich der Einrichtung dieser verschiedenen Maschinen muss auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden.

Vor dem Handtorfe zeichnet sich der mit Maschinen gewonnene Torf (auch wohl Kunsttorf genannt) durch grössere Gleichmässigkeit und Festigkeit aus, welche letztere den Transport auf grössere Entfernungen ohne Gefahr für starke Verluste ermöglicht; vor dem gewöhnlichen Streichtorfe besitzt der Presstorf den Vorzug einer grösseren Dichtigkeit (wodurch nicht nur ebenfalls der Transport erleichtert, sondern auch die Verbrennung der gleichen Menge Torf auf einen kleineren Raum beschränkt ist) und einer verringerten hygroskopischen Beschaffenheit.

Die Zusammensetzung der reinen Torfsubstanz (excl. Wasser und Asche) ist nach dem verschiedenen Alter des Torfes verschieden, beträgt jedoch durchschnittlich:

Kohlenstoff	60	Proc.
Wasserstoff	6	"
Sauerstoff und Stickstoff	34	"

Ein Umstand, welcher sich der Verwendung des Torfes in solchen Fällen, wo es sich um Hervorbringung hoher Temperaturen handelt, hemmend entgegenstellt, ist sein beträchtlicher Wassergehalt und sein oft sehr ansehnlicher Aschengehalt. Der Wassergehalt des frischen (nicht getrockneten) Torfes pflegt mindestens 80 Proc. zu betragen; an der Luft gut getrockneter Torf enthält gewöhnlich noch 25 Proc. Wasser; durch Trocknen bei 100° C. lässt sich allerdings auch dieses Wasser bis auf kleine Mengen austreiben, der gedarrte Torf aber nimmt, sobald er der Luft ausgesetzt ist, rasch wieder die vorige Menge Wasser auf, eine Eigenschaft, die er mit dem gedarrten Holze theilt. Bei Erhitzung über 120° C. beginnt bereits die Zersetzung.

Der Aschengehalt des Torfes beträgt allerdings in einzelnen seltenen Fällen nur 0.5 Proc. und man nennt diejenigen Torfe, deren Aschengehalt unter 5 Procent bleibt, aschenarme; häufiger noch sind diejenigen mit 5—10 Proc. Asche (mittlerer Aschengehalt), und nicht selten kommt ein Aschengehalt bis 20 Proc. und darüber vor (aschenreiche Torfe). Steigt jedoch der Gehalt über 25 Proc., so dürfte es kaum möglich sein, ihn als Brennstoff zu verwenden.

Die Asche besteht gewöhnlich zum grössten Theile aus Kieselsäure, Eisenoxyd, Thonerde und Kalk mit kleineren Mengen Alkalien, Magnesia, Phosphorsäure. Der Phosphorsäuregehalt geht selten über

2 Proc. des Aschengewichtes hinaus und beträgt häufig erheblich weniger.

Die Wärmeleistung der reinen Torfsubstanz lässt sich ungefähr zu 5300 W.-E. annehmen, während gewöhnlicher lufttrockener Torf mit mittlerem Aschengehalte höchstens 3500 W.-E. zu liefern im Stande ist. Nach Versuchen von Brix verdampft 1 kg Torf mit 8—10 Proc. Asche und 25 Proc. Wasser bei der Heizung eines Dampfkessels etwa 1.2 mal so viel Wasser als Holz; nimmt man also die Wärmeleistung dieses letzteren, wie oben mitgetheilt, zu 2900 W.-E. an, so würde die Wärmeleistung des Torfes ca. 3500 W.-E. betragen.

Um den Torf auch für solche Zwecke verwendbar zu machen, wo eine höhere Verbrennungstemperatur Bedingung ist, insbesondere also auf Eisenhüttenwerken, unterwirft man ihn zur Austreibung seines Wassergehaltes einem Trocknungsprocesse (Darren) bei etwa 100° C. in ähnlichen Darrkammern als für das Trocknen des Holzes benutzt werden. Die Form derselben und die Einrichtung zum Heizen ist ziemlich mannigfaltig; nähere Angaben hierüber findet der Leser in den unter „Literatur“ aufgeführten Werken von Hausding und Birnbaum.

Dass der gedarrte Torf rasch, d. h. noch warm, verbraucht werden muss, wenn er nicht wieder Wasser anziehen soll, dass also die Darrvorrichtungen auch unmittelbar neben dem Verwendungsorte sich befinden müssen, wurde schon erwähnt.

4. Die Torfkohle.

Darstellung.

Durch Erhitzung des Torfes auf 200—300° C. wird unter Zersetzung der Torfmasse der Sauerstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgehalt nebst einem Theile des Kohlenstoffgehaltes ausgetrieben und es hinterbleibt der Rest des Kohlenstoffes — allerdings nicht ohne kleine Mengen auch der übrigen Bestandtheile der Torfmasse — nebst dem Aschengehalte als Torfkohle zurück. Wie alle Kohle im eigentlichen Sinne (Holzkohle, Koks), welche eine Zersetzung durch einfache Erhitzung nicht mehr erleiden kann, besitzt dieselbe die Eigenschaft, ohne Flamme zu verbrennen und eine höhere Verbrennungstemperatur als der rohe Torf zu entwickeln, bei dessen Verbrennung eine reichliche Menge Wasser gebildet wird. Für viele, insbesondere für manche metallurgische, Zwecke ist sie deshalb besser als dieser geeignet.

Die Herstellung der Torfkohle geschieht in ähnlicher Weise als die der Holzkohle.

a) Meilerverkohlung.

Die Meiler werden in ähnlicher Weise hergestellt und betrieben als bei der Holzverkohlung, und man unterscheidet auch hier stehende Meiler von paraboloidischer Form und liegende Meiler oder Haufen. Das Verfahren besitzt jedoch im Vergleiche mit der Meilerverkohlung des Holzes mancherlei Nachtheile. Wie das Holz schwindet der Torf beim Verkohlen; aber bei der geringen Grösse der einzelnen in dem Meiler befindlichen Torfstücke ist die Zahl der hierbei entstehenden

Zwischenräume zwischen denselben weit beträchtlicher, ein Ausfüllen derselben während der Verkohlung schwieriger, als bei der Darstellung von Holzkohlen; der Torfmeiler schwindet ungleichmässig und die Wartung desselben ist noch umständlicher als diejenige des Holzkohlenmeilers.

Die Zeitdauer des Betriebes eines Torfmeilers von etwa 80 cbm Inhalt pflegt ungefähr 14 Tage, das Ausbringen an Gewicht durchschnittlich 30 Proc., an Rauminhalt 60 Proc. zu sein.

b) Ofenverkohlung.

In Rücksicht auf die soeben geschilderten Uebelstände der Meilerverkohlung, sowie auf den Umstand, dass die Verkohlungsöfen bei der Gewinnungsstätte des Torfes selbst aufgestellt werden können, der bei der Verkohlung des Holzes in Oefen erforderliche und kostspielige Transport also wegfällt, findet die Anwendung von Oefen für die Torfverkohlung häufiger als bei der Verkohlung des Holzes statt. Es giebt zahlreiche Ofensysteme für diesen Zweck, welche sich sämmtlich nicht unwesentlich von den oben beschriebenen Holzverkohlungsöfen unterscheiden.

Einzelne dieser Oefen haben die Form eines senkrecht stehenden Schachtes, nach oben sich etwas erweiternd, unten durch einen Rost geschlossen (Wagenmann's Ofen), und die Verkohlung schreitet von oben nach unten hin fort, damit nicht durch die Schwindung der verkohlenden Torfstücke Unregelmässigkeiten herbeigeführt werden. Da aber bei dieser Einrichtung doch eine theilweise Verbrennung der oberen Torfstücke unvermeidlich ist, hat man bei anderen derartig geformten Oefen die Gichtöffnung durch einen luftdicht verkitteten Deckel verschlossen und durch ein in dem letzteren befestigtes Rohr Gase aus einem Generator in den Ofen geleitet, welche hier durch zugeführte Luft verbrannt werden (Schenk's Ofen). Bei neueren Einrichtungen, welche auf derselben Idee wie der zuletzt erwähnte Ofen fussen, benutzt man gusseiserne Cylinder als Oefen, von denen mehrere um ein gemeinschaftliches, von einem Gasgenerator kommendes Gaszuleitungsrohr gruppirt sind. Die Gase werden bereits innerhalb dieses Rohres mit der Verbrennungsluft gemischt, welche in rings um die Feuerung herum angeordneten Kanälen vorgewärmt wird, und gelangen alsdann durch gleichmässig vertheilte Oeffnungen am oberen Rande in den eigentlichen Ofen, ziehen durch die Torfsäule hindurch nach unten und verlassen den Ofen, mit den Destillationsgasen vermischt, durch untere Oeffnungen, die auch hier rings herum am Rande vertheilt sind. Der Boden des Ofens besteht aus einem Schieber, durch dessen Oeffnen die Entleerung bewirkt wird (Ofen von Hall und Bainbridge). Die Verkohlungszeit in einem solchen Ofen ist 12 Stunden.

Auch überhitzten Wasserdampf hat man zur Verkohlung des Torfes angewendet. Der Verkohlungsofen von Barff und Thursfield besteht aus liegenden schmalen Kammern, in welche der überhitzte Dampf geleitet wird, nachdem der Torf auf eisernen Wagen hineingebracht worden ist. Nach Beendigung der Verkohlung werden die Wagen sofort

in einen, auf einer Schiebebühne stehenden, Blechkasten entleert, welcher alsbald luftdicht verschlossen und mit seinem Inhalte einer mehrstündigen Abkühlung unterworfen wird, damit nicht die heisse Torfkohle unter der Einwirkung der atmosphärischen Luft sich entzünde. Nach Versuchen, welche zu Wörschach angestellt wurden[1]), scheint es jedoch, als fände hierbei nur eine theilweise Zersetzung der Torfmasse statt; die dort dargestellte Torfkohle enthielt noch 30 Proc. brennbare Gase.

Das Ausbringen an Torf in den Verkohlungsöfen ist günstiger als in Meilern und beträgt bei Anwendung lufttrockenen Torfes durchschnittlich 40 Proc. des ursprünglichen Gewichtes, in Wörschach bei Darstellung halbverkohlten Torfes 45 Proc. Selbstverständlich spielt der Aschengehalt des Torfes hierbei ebenfalls eine Rolle; da derselbe unverändert bleibt, so werden aschenreichere Torfe auch ein scheinbar grösseres Ausbringen geben als aschenarme.

c) Retortenverkohlung.

Auch für dieses Verfahren sind mannigfache Ofenconstructionen, sowohl mit stehenden als liegenden Retorten, in Anwendung gebracht worden. Mit der Retortenverkohlung des Holzes theilt dieses Verfahren den Uebelstand ziemlich hoher Betriebskosten, welche nicht allein durch die complicirtere Einrichtung der Oefen, sondern hauptsächlich auch durch den hohen Brennstoffaufwand zum Heizen derselben (25—30 Proc. von dem zu verkohlenden Torfe) hervorgerufen werden; anderntheils aber ist der Werth der entstehenden Destillationserzeugnisse (Theer und Ammoniakwasser) ein verhältnissmässig geringer, und hierdurch wird die hauptsächlichste Veranlassung zur Anwendung des Verfahrens hinfällig.

Eigenschaften der Torfkohle.

In ihrem Aeusseren zeigen die Torfkohlen die Structur des benutzten Torfes, sind leicht, schwammig. Eine gute, für metallurgische Zwecke brauchbare Torfkohle lässt sich nur aus gepresstem Maschinentorf darstellen; Stechtorf würde nur äusserst leichte, geringwerthige Kohlen zu liefern im Stande sein. Die schon erwähnte schwache Seite der meisten Torfsorten, ihr grosser Aschengehalt, tritt natürlicherweise noch empfindlicher in der Torfkohle zu Tage, in welcher der gesammte Aschengehalt unverändert zurückbleibt, in einer kleineren Menge brennbarer Substanz sich vertheilend. Aus diesem Grunde pflegt man überhaupt nur die besten, aschenarmen Torfe der Verkohlung zu unterziehen.

Wie die Holzkohle enthält die Torfkohle noch gewisse Mengen Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff und absorbirt beim Lagern Gase und Feuchtigkeit. Die Zusammensetzung einer guten Torfkohle lässt sich durchschnittlich annehmen zu

---

1) Vergl. die unter „Literatur“ aufgeführte Abhandlung: A. Enigl, Ueber Mitverwendung von Torf beim Hochofenbetriebe.

Kohlenstoff	70
Wasserstoff	2
Sauerstoff und Stickstoff	11
Feuchtigkeit	12
Asche	5,

ihre Wärmeleistung zu etwa 6300 W.-E.

1 cbm aschenarme Torfkohle wiegt 230—250 kg, aschenreiche 300—350 kg.

5. Die Braunkohle.

Dieselbe, aus Pflanzenresten der Tertiärzeit bestehend, bildet den jüngsten der eigentlichen mineralischen Brennstoffe und zerfällt ihrem Aeusseren wie ihrer chemischen Zusammensetzung nach in verschiedene Unterabtheilungen.

a) Lignite oder fossiles Holz.

Diese Braunkohlenart zeigt noch deutlich die Structur des Holzes, aus dem sie entstanden ist. Offenbar waren es Baumstämme, durch die theilweise eingetretene Zersetzung gebräunt und durch die auf ihnen lastenden Schichten theilweise zerdrückt, denen sie ihr Entstehen verdankt; sie lassen sich spalten und wie gewöhnliches Holz verbrennen.

Die chemische Zusammensetzung der eigentlichen Braunkohlenmasse der Lignite schwankt innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	57—67 Proc.
Wasserstoff	6— 5 „
Sauerstoff und Stickstoff	37—28 „

Die kohlenstoffärmsten, wasserstoff- und sauerstoffreichsten Lignite sind die am wenigsten zersetzten.

Ein grosser Uebelstand dieser Braunkohlenart ist ihr beträchtlicher Wassergehalt, welcher bei der frisch geförderten Kohle kaum unter 30 Proc., mitunter bis zu 50 Proc. beträgt und natürlich den Brennwerth sehr abmindert. Nun lässt sich allerdings ein grosser Theil dieses Wassergehaltes durch Lagern der Kohle an der Luft entfernen; hierbei aber entsteht ein anderer Uebelstand: die Kohle zerfällt beim Trocknen zu Pulver und eignet sich in dieser Form für sehr viele Zwecke weniger gut als in grösseren Stücken.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt ca. 5500 W.-E., während die wirklichen Kohlen wegen ihres Wasser- und Aschengehaltes kaum mehr als 3400 W.-E. zu liefern im Stande sein dürften.

Der Aschengehalt ist in allen Fällen bedeutender als der des frischen Holzes und pflegt mindestens 4 Proc. zu betragen, steigt aber in einzelnen Fällen bis zu 15 Proc. und darüber.

1 cbm Lignite wiegt 550—750 kg, je nachdem der Wasser- und Aschengehalt kleiner oder grösser ist.

b) Erdige Braunkohlen, Moorkohlen.

Weiche, zerreibliche Masse, aus der Zersetzung niedriger Pflanzen (wie der Torf) hervorgegangen. Wie die Lignite ist sie reich an Wasser,

mitunter auch reich an Asche und steht in ihrem chemischen Verhalten jenen sehr nahe. Wegen ihres dichten, erdigen Zustandes besitzt sie für metallurgische Zwecke nur geringe Bedeutung.

c) Eigentliche Braunkohlen.

Im Aeusseren unterscheiden sich dieselben von den vorstehend besprochenen Sorten durch ihre grössere Festigkeit und Härte, ihren muscheligen Bruch, ihre grössere Beständigkeit an der Luft. In chemischer Beziehung zeichnen sie sich vor jenen durch einen grösseren Kohlenstoffgehalt und geringeren Wassergehalt aus; Eigenschaften, welche ihnen einen entsprechend höheren Brennwerth verleihen. Ihre Farbe ist braun bis schwarz, der Strich braun. Eine besondere, seltener vorkommende Abart derselben, ausgezeichnet durch besonders hohen Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt bei geringem Sauerstoffgehalte, durch leichte Entzündbarkeit und lange rauchende Flamme, wird bituminöse Braunkohle, fette Braunkohle, Schweelkohle genannt.

Die reine Kohlensubstanz dieser Braunkohlensorten enthält:

	Gewöhnliche Braunkohle	Fette Braunkohle
Kohlenstoff	65—75 Proc.	70—80 Proc.
Wasserstoff	6 — 4 „	6— 8 „
Sauerstoff und Stickstoff . .	29—21 „	24—12 „

Bei der Erhitzung entweichen 50 — 60 Proc. flüchtige Körper und es hinterbleiben 50—40 Proc. Kohle.

Der Wassergehalt geht selten über 10 Proc. hinaus, der Aschengehalt pflegt mindestens 3 Proc. zu betragen, steigt aber bei einzelnen Sorten bis auf das 10fache dieser Menge. Häufige Beimengungen sind Schwefel und Schwefelkies; Phosphate dagegen finden sich auch in der Asche selten in erheblichen Mengen.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt — abweichend nach der chemischen Zusammensetzung — 7000—8000 W.-E.; diejenige der wirklichen Kohlen (wasser- und aschenhaltig) durchschnittlich 5500 W.-E.

1 cbm Braunkohlen in mittelgrossen Stücken wiegt ca. 700 kg.

Auf zahlreichen Eisenwerken bildet diese Art der Braunkohlen ein geschätztes Brennmaterial für verschiedene Zwecke.

Eine Verkohlung der Braunkohlen ist verschiedentlich versucht worden, liefert aber wegen der Eigenschaft der Braunkohlen, beim Erhitzen zu zerfallen, nur unbefriedigende Ergebnisse. Mitunter hat man aus diesem Grunde die verkohlte pulverförmige Braunkohle als Zusatzmaterial bei der Verkohlung (Verkokung) gewisser Steinkohlenarten verwendet, welche wegen ihrer backenden Eigenschaft als Bindemittel für die Braunkohlen zu dienen befähigt sind. Einestheils werden jedoch die örtlichen Verhältnisse, insbesondere die Preise der beiden zu vereinigenden Materialien, nur ausnahmsweise solche sein, dass dieses Verfahren auch ökonomisch vortheilhaft erscheinen kann, anderntheils lässt auch — so weit die bis jetzt erlangten Erfolge reichen — die Güte der hierbei erhaltenen Kohlen (Koks) doch mancherlei zu wünschen übrig. Sie sind zerreiblich und ertragen keinen Transport auf weitere Strecken.

6. Die Steinkohle und der Anthracit.

Diese, für die gesammte Metallurgie höchst wichtigen Brennstoffe treten in den oberen primären und unteren secundären Erdformationen, vorwiegend aber in der nach ihnen benannten Steinkohlenformation in oft mächtigen Flötzen auf, die sich, wie z. B. in Nordamerika, über Hunderte von Quadratmeilen ausdehnen und nicht selten mehr als 15 m Mächtigkeit erreichen.

Von den ihnen an Alter nachstehenden Braunkohlen unterscheiden sie sich äusserlich durch ihre schwarze Farbe (nur wenige Braunkohlenarten besitzen ebenfalls eine so dunkle Farbe), schwarzes Strichpulver, grösseres specifisches Gewicht, beim Erhitzen durch einen erheblich grösseren Destillationsrückstand. Die Textur des Holzes, aus dem bekanntlich auch die Steinkohlen ursprünglich entstanden, ist nicht mehr erkennbar.

Unter sich aber zerfallen die Steinkohlen wieder in eine Reihe verschiedener Arten, welche in physikalischer wie in chemischer Hinsicht ganz erhebliche Unterscheidungsmerkmale besitzen. Verfolgt man diese Arten von denjenigen an, welche in ihrer Beschaffenheit den Braunkohlen am nächsten stehen, bis zu den Anthraciten hin, welche ihnen am wenigsten ähnlich sind, in der Reihenfolge, wie sie unten gegeben ist, so sieht man eine stete Zunahme des Kohlenstoffgehaltes unter entsprechender Abnahme des Wasser- und Sauerstoffgehaltes; infolge davon wird der Rückstand beim Erhitzen immer beträchtlicher[1]), die Entzündlichkeit geringer, die Flamme beim Verbrennen, welche durch entweichende und verbrennende Kohlenwasserstoffe wie durch Kohlenoxyd gebildet wird, immer kleiner, aber die Wärmeleistung des Brennstoffes grösser, und erst bei der kohlenstoffreichsten Sorte, dem Anthracit, tritt wieder eine Verringerung der letzteren ein. Eine eigenthümliche und für viele Verwendungen wichtige Eigenschaft zeigen die mittleren Glieder der Reihe: sie nehmen beim Erhitzen eine klebrige, teigartige Beschaffenheit an, sie b a c k e n. Sowohl denjenigen Arten, welche den Braunkohlen nahe stehen, als auch den anthracitartigen fehlt diese Eigenschaft; den ersteren wegen eines zu reichlichen Sauerstoffgehaltes, den letzteren wegen zu beträchtlichen Kohlenstoffgehaltes.

Die chemische Zusammensetzung der reinen Steinkohlenmasse sämmtlicher Steinkohlen bewegt sich innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	75—93
Wasserstoff	6— 4
Sauerstoff und Stickstoff	19— 3.

Der Destillationsrückstand beträgt 50—90 Proc., die Menge der entweichenden flüchtigen Erzeugnisse demnach 50—10 Proc.

---

1) Beachtenswerth ist jedoch, dass zwei Kohlen von annähernd gleicher chemischer Zusammensetzung doch bei der Destillation einen verschieden grossen Rückstand an Kohle hinterlassen können, ein Umstand, der sich durch Verschiedenheit in der molekularen Anordnung recht wohl erklären lässt; und die Grösse dieses Destillationsrückstandes kennzeichnet gewöhnlich schärfer das übrige Verhalten der Kohle als die eigentliche chemische Zusammensetzung.

Der hygroskopische Wassergehalt der Steinkohlen ist bedeutend geringer als der aller übrigen natürlichen Brennstoffe und geht selten über 5 Proc. hinaus; der Aschengehalt beträgt bei den besseren Kohlen 0.5—7 Proc. (selten weniger als 4 Proc.), bei mittleren 7—14 Proc., bei aschenreicheren noch mehr. Die Analyse der Asche zeigt einen Kieselsäuregehalt von durchschnittlich 50 Proc., Eisenoxyd und Thonerde in oft erheblichen Mengen, Kalk mitunter bis 20 Proc., kleine Mengen Alkalien, Phosphorsäure bis zu 1.5 Proc. und Schwefelsäure, aus der Zersetzung von Schwefelkies bei der Verbrennung hervorgegangen und an Kalk gebunden. Hinderlich für die Verwendung mancher Steinkohlen ist ihr beträchtlicher Schwefelgehalt, von eingelagerten Kiesen herrührend, welcher mitunter 3 Proc., nicht selten 2 Proc. des Steinkohlengewichtes ausmacht. Auch Arsen, Zink, Blei finden sich in kleineren Mengen.

Für die Eintheilung der Steinkohlen sind im Laufe der Jahre eine grössere Zahl verschiedener Gesichtspunkte aufgestellt worden. In Folgendem ist die von Gruner entwickelte Eintheilungsmethode benutzt worden, welche unter allen übrigen die zutreffendste sein dürfte. Dass in der Praxis einzelne Fälle auftreten können, wo die physikalischen Eigenschaften der Kohle nicht so, wie es nach Gruner's Eintheilung der Fall sein müsste, mit der chemischen Zusammensetzung beziehentlich dem Verhältnisse des Destillationsrückstandes zu den flüchtigen Destillationserzeugnissen übereinstimmen, lässt sich freilich nicht in Abrede stellen.

a) Langflammige Sandkohlen.

Sie sind im Aeusseren gekennzeichnet vornehmlich durch ihre lange Flamme, auf einen grossen Gehalt flüchtiger brennbarer Substanzen deutend, den verhältnissmässig geringen Rückstand bei der Destillation (höchstens 60 Proc.) und die Eigenschaft dieses Rückstandes, die ursprüngliche Form beizubehalten, ohne im Mindesten zu backen. Grössere Stücke zerspringen wohl oder werden rissig, klare Kohle bleibt in allen Fällen pulverförmig.

Ihre chemische Zusammensetzung zeigt gewöhnlich folgende Werthe:

Kohlenstoff	75 —80 Proc.
Wasserstoff	5.5— 4.5 „
Sauerstoff und Stickstoff . .	19.5—15.5 „

Der Destillationsrückstand beträgt 50—60 Proc., die flüchtigen Erzeugnisse 50—40 Proc.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt 8000 bis 8500 W.-E., ihre Verdampfungsfähigkeit 6.7—7.5 kg Wasser (nach Scheurer-Kestner und Meunier).

1 cbm dieser Kohlen wiegt ca. 700 kg.

In Deutschland finden sich diese Kohlen oder Uebergänge derselben zu der nächsten Gattung in den oberen Schichten der Kohlenbecken Oberschlesiens, in geringeren Mengen bei Saarbrücken; Grossbritannien besitzt wichtige Vorkommnisse derselben in Schottland, wo sie im unverkohlten Zustande als fast ausschliesslich benutzter Brennstoff beim

Eisenhochofenbetriebe Verwendung finden, ferner in Derbyshire, Staffordshire u. a. O.

Eine vorzugsweise in sächsischen Steinkohlenflötzen auftretende Abart dieser Kohlengattung ist die Russkohle, durch ihre tiefschwarze Farbe, ihre Zerreiblichkeit, faserige Structur und ihren geringen Gehalt an Wasserstoff gekennzeichnet, welcher oft weniger als 3 Proc. beträgt, während der Kohlenstoffgehalt entsprechend höher ist (76—82 Proc.).

b) Langflammige Backkohlen.

Sie brennen wie die vorigen Kohlen mit langer und rauchender Flamme; beim Erhitzen aber verändern die Bruchstücke ihre Form, schmelzen und backen aneinander, ja, eine grössere Zahl kleinerer Stücke vereinigt sich förmlich zu einem Ganzen. Uebergänge zwischen dieser und der vorhergehenden Kohlengattung, welche zwar nicht völlig erweichen und ihre ursprüngliche Form beibehalten, doch aber Neigung zeigen, zusammen zu fritten, heissen Sinterkohlen.

Die chemische Zusammensetzung dieser Kohlen beträgt etwa:

Kohlenstoff	80 —85	Proc.
Wasserstoff	5.8— 5	„
Sauerstoff und Stickstoff	14.2—10	„ ,

der Destillationsrückstand 60—68 Proc., die entweichenden flüchtigen Körper 40—32 Proc. Die erfolgende Gasmenge ist geringer als bei den langflammigen Sandkohlen, aber die Leuchtkraft des erfolgenden Gases bedeutender, und es bilden deshalb diese Kohlen das vornehmste Material zur Leuchtgaserzeugung (Gaskohlen), wobei die Kohle durch Erhitzung in Retorten zersetzt und das entweichende Gas, nachdem es verschiedene Reinigungsapparate zum Zurückhalten des Theers, Wassers, der Kohlensäure wie der Schwefelverbindungen durchströmt hat, im Gasometer aufgesammelt wird, während ein poröser Koks in den Retorten zurückbleibt.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt nach Scheurer-Kestner und Meunier 8500—8800 W.-E., ihre Verdampfungsfähigkeit 7.6—8.3 kg Wasser.

1 cbm grossstückiger langflammiger Backkohlen wiegt 700—750 kg.

Diese Kohlengattung kommt innerhalb Deutschlands vorzugsweise in Oberschlesien, in Westfalen und bei Saarbrücken vor; sie ist ferner in Frankreich ziemlich häufig (Kohlenbecken von Pas-de-Calais und Loire), wird in Belgien im Becken von Mons gewonnen und in Grossbritannien bei Newcastle wie in Schottland.

c) Gewöhnliche Backkohlen.

Dieselben sind etwas schwieriger entzündlich als die beiden vorstehend besprochenen Gruppen, und brennen mit nicht ganz so langer, aber weniger rauchender Flamme. Beim Erhitzen verhalten sie sich den langflammigen Backkohlen ganz ähnlich, nur tritt bei ihnen jene kennzeichnende Eigenthümlichkeit aller Backkohlen durchschnittlich in noch stärkerem Maasse zu Tage, sie schmelzen wie Harz und blähen sich dabei infolge der Gasentwickelung stark auf. Diese stark backende

Eigenschaft erhebt diese Kohlen — welche übrigens zur Gaserzeugung, zur Koksdarstellung und zu mannigfachen anderen Zwecken ebenfalls Verwendung finden — zu einem ganz besonders geeigneten Materiale für den Betrieb von Schmiedefeuern, wobei kleinstückige Kohlen dieser Art (unter der Benennung Schmiedekohlen in den Handel gebracht) oberhalb des zu erhitzenden Eisenstückes aufgeschüttet werden, hier alsbald zusammenbacken und solcherart eine zusammenhängende Decke bilden. Von Zeit zu Zeit stösst der Schmied die Decke ein, schüttet von oben her frische Kohlen nach, und bewirkt auf diese Weise, dass nur glühende und bereits entschwefelte Kohlen mit dem Eisen in unmittelbare Berührung treten.

Die Zusammensetzung dieser Kohlen bewegt sich gewöhnlich innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	84—89 Proc.
Wasserstoff	5— 5.5 „
Sauerstoff und Stickstoff . .	11— 5.5 „

Der Destillationsrückstand beträgt 68—74 Proc., während 32 bis 26 Proc. flüchtige Körper entweichen.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlensubstanz beträgt nach Scheurer-Kestner und Meunier 8800—9300 W.-E. Die Verdampfungsfähigkeit nach Brix 8.5—9.2 kg Wasser.

1 cbm Kohlen wiegt 750—800 kg.

Die in Rede stehenden Backkohlen bilden wichtige Vorkommnisse am Niederrhein und in Westfalen (z. B. bei Essen und Bochum), in Belgien, Frankreich, England.

d) Kurzflammige Backkohlen.

Zerreiblich, schwerer verbrennlich als die vorausgehend besprochenen, mit kurzer, leuchtender, wenig rauchender Flamme verbrennend. Bei der Erhitzung blähen sich diese Kohlen zwar noch auf und backen zusammen, hinterlassen aber einen dichteren Rückstand als die gewöhnlichen Backkohlen. Je mehr sie sich in ihrer Beschaffenheit der folgenden Gattung nähern, desto weniger leicht findet das Backen statt. Ebenso verliert sich die backende Eigenschaft dieser Kohlen mehr und mehr, wenn sie längere Zeit hindurch an der Luft lagern; es findet hierbei ein theilweiser Zersetzungsprocess statt, welcher eine Verflüchtigung derjenigen Bestandtheile bewirkt, auf denen die backende Eigenschaft beruht.

Die chemische Zusammensetzung beträgt:

Kohlenstoff	88 —91 Proc.
Wasserstoff	5.5— 4.5 „
Sauerstoff und Stickstoff . .	6.5— 4.5 „ ,

der Destillationsrückstand 74—82 Proc., die Menge der verflüchtigten Bestandtheile 26—18 Proc.

Diejenigen Kohlensorten, deren Zusammensetzung der zweiten Vertikalreihe entspricht, bilden bereits die Uebergänge zu der nächsten Gattung und backen nur schwierig.

Unter allen Kohlengattungen besitzen die kurzflammigen Backkohlen

die grösste Wärmeleistung, nämlich 9300—9600 W.-E. bei einer Verdampfungsfähigkeit von durchschnittlich 9.7 kg Wasser.

Die hauptsächlichsten Gewinnungsbezirke dieser Kohlen sind in Deutschland Westfalen und der Niederrhein, in Frankreich die Gegend bei Creusot, St. Etienne, Gard u. a. O., in Belgien bei Charleroy, in England in Südwales, besonders die Gegend bei Cardiff.

e) Anthracitische oder magere Kohlen und Anthracite.

Dieselben besitzen gewöhnlich geringe Festigkeit, sind schwer entzündlich, verbrennen mit kurzer, fast rauchloser Flamme, welche bald erlischt, und zerspringen im Feuer öfter in Stücke, wodurch ihre Verwendung erschwert wird.

Beim Erhitzen hinterbleibt ein wenig zusammenhängender, oft pulverförmiger Rückstand; sie backen so wenig wie die zuerst besprochenen langflammigen Sandkohlen.

Die Zusammensetzung ist ungefähr folgende:

Kohlenstoff	90 —95	Proc.
Wasserstoff	4.5— 2	„
Sauerstoff und Stickstoff . .	5.5— 3	„

Destillationsrückstand 82—92 Proc., verflüchtigte Bestandtheile 18 bis 8 Proc.

Die Wärmeleistung schwankt zwischen 9200—9500 W.-E.; die Verdampfungsfähigkeit ist 9—9.5 kg Wasser.

Diese Kohlen gehören zu den selteneren Vorkommnissen. In Deutschland finden sie sich bei Aachen und an einigen Stellen Westfalens; in Frankreich am nördlichen Rande des Beckens von Valenciennes und einigen anderen Orten, in Belgien bei Charleroy, in England bei Merthyr Tydwill. Man benutzt sie hier mehr zur Dampfkessel- und Hausfeuerung, wozu sie durch ihre fast rauchfreie Verbrennung sich empfehlen, als für eigentlich metallurgische Zwecke. Wichtiger sind die Vorkommnisse Nordamerikas (Pennsylvaniens), wo diese Kohlen einen Flächenraum von ca. 120 000 ha bedecken und in reichen Mengen gewonnen werden. Der ziemlich geringe Aschengehalt und sehr unbedeutende Feuchtigkeitsgehalt der dortigen Anthracite[1]) stellt sie hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung den besseren Kokssorten zur Seite und macht sie geeignet, nöthigenfalls an Stelle der letzteren als Brennstoff beim Hochofenbetriebe benutzt zu werden; allerdings besitzen sie den Koks gegenüber den grossen Nachtheil, beim Erhitzen in Stücke zu zerspringen und sehr schwer verbrennlich zu sein, zwei Eigenschaften, welche unverkennbar ihre Verwendung für den genannten Zweck wie für andere Processe erschweren.

---

1) Nach Wedding (Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten, Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate Bd. XXIV) enthalten die Anthracite Pennsylvaniens durchschnittlich:

Kohle	Flüchtige Bestandth.	Asche	Schwefel	Phosphor	Feuchtigkeit
82.50	5.50	10.50	0.35	0.012	1.15

Die besten dagegen nur 5.8 Proc. Asche bei 89.0 Proc. Kohlenstoff.

Die Aufbereitung der Steinkohlen.

Der Umstand, dass der hohe Aschen- und insbesondere der Schwefelkiesgehalt mancher Steinkohlen ihre Verwendbarkeit sowohl für die unmittelbare Verbrennung als auch vorzugsweise für die Herstellung von Koks — verkohlten Steinkohlen — ganz erheblich beeinträchtigt, führte schon in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts zu Versuchen, die Steinkohlen durch Aufbereitung auf mechanischem Wege von einem Theile jener fremden Beimengungen zu befreien; und die schon seit früherer Zeit betriebene Aufbereitung der Erze, besonders der Blei- und Silbererze, zeigte naturgemäss den Weg für die Aufbereitung der Steinkohlen. Eine der ersten Aufbereitungsanstalten dieser Art wurde 1830 im Plauenschen Grunde bei Dresden angelegt; bald folgten andere Kohlenwerke dem gegebenen Beispiele. Eine ausgedehntere Anwendung jedoch fand die Steinkohlenaufbereitung erst seit den sechziger Jahren, nachdem die von Jahr zu Jahr zunehmende Anwendung von Koks für den Hochofenbetrieb der Aufgabe, aschenarme Koks darzustellen, eine grössere Wichtigkeit als zuvor verliehen hatte.

Die Aufbereitung wird entweder unmittelbar auf der Kohlengrube, nicht selten aber auch auf dem Eisenwerke vorgenommen. Sie beruht im Wesentlichen auf dem physikalischen Gesetze, dass Körper von annähernd gleicher Korngrösse im Wasser um so rascher zu Boden sinken, je grösser ihr specifisches Gewicht ist, und dass mithin, wenn man Körper von verschiedenem specifischen Gewichte, aber gleicher Korngrösse, im Wasser sinken lässt, sie sich in horizontalen Lagen gemäss dem Unterschiede ihrer specifischen Gewichte von einander sondern werden. Bei der Behandlung der Steinkohlen in dieser Weise werden mithin die specifisch schwereren „Berge“, d. h. die beigemengten fremden Gesteine zu unterst und die eigentlichen Kohlen zu oberst zu liegen kommen und sich solcherart von einander sondern lassen. Wendet man jedoch hierbei nicht ruhig stehendes Wasser an, sondern führt man den niederfallenden Körpern einen aufsteigenden Wasserstrom entgegen, so wird dadurch die Geschwindigkeit der fallenden Körper um so mehr verlangsamt werden, je grösser die Geschwindigkeit des Wassers ist; ja, durch entsprechende Regelung dieser Wassergeschwindigkeit wird man im Stande sein, den leichteren Bestandtheilen des zu sortirenden Gemisches, in diesem Falle also den Kohlen, eine mit dem Wasserstrome *aufsteigende* Bewegung zu ertheilen und sie von dem Wasser fortführen zu lassen, um sie an einer anderen Stelle aufzufangen, während die schwereren Bestandtheile, die Berge, nach wie vor ihre Bewegung abwärts, dem Wasserstrome entgegen, beibehalten.

Setzt man endlich Körper von verschiedenem specifischen Gewichte, aber gleicher Grösse, der Einwirkung eines horizontal oder mit schwacher Neigung abwärts bewegten Wasserstromes aus, so sinken innerhalb des Stromes zunächst die schwereren Bestandtheile, dann allmählich in grösserer Entfernung von der ersten Stelle auch die leichteren zu Boden; und wenn die Geschwindigkeit des Stromes allmählich sich verringert und seine Tiefe ausreichend gross ist, so werden schliesslich auch die feinsten Mehle aus demselben abgeschieden werden.

Die Geschwindigkeit des Niederfallens im Wasser ist jedoch, wie schon angedeutet wurde, nicht allein von dem specifischen Gewichte, sondern auch von der Grösse und Form der einzelnen Körner abhängig. Solche Körner, welche im Wasser mit gleicher Geschwindigkeit herabsinken, heissen gleichfällig. Alle gleichfälligen Körner zusammen bilden eine Sorte, alle gleich grossen eine Classe. Die Trennung nach den verschiedenen Sorten wird durch Setzen bewirkt, d. h. durch die geschilderte Einwirkung des ruhig stehenden, aufsteigenden oder fliessenden Wassers auf die zu sortirenden Körner, wobei diese in verschiedenen Lagen sich in dem Wasser absetzen: Die sämmtlichen zur Durchführung dieser Arbeiten erforderlichen Apparate bilden zusammen die Wäsche; das Verfahren der Trennung brauchbarer Bestandtheile von den unbrauchbaren im Allgemeinen heisst die Separation.

Damit aber in der Wäsche die Aufgabe, eine möglichst vollkommene Trennung der Berge von den Kohlen zu bewirken, gelöst werden könne, ist es, wie schon gesagt, erforderlich, dass die zu trennenden Körper annähernd gleiche Korngrösse besitzen. Je grösser das einzelne Stück ist, desto rascher sinkt es im Wasser zu Boden oder desto grösser muss die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstromes sein, um es ebenfalls aufwärts zu bewegen; wollte man also Gemenge von sehr verschiedener Korngrösse in dieser Weise behandeln, so würden die specifisch schwereren kleineren und die specifisch leichteren grösseren Stücke mit einander niederfallen und eine Trennung der verschiedenen Bestandtheile nicht erreicht werden.

Die Geschwindigkeit v, mit welcher ein Körper von der unregelmässigen Form, wie sie die Kohlenstücke zu besitzen pflegen, im ruhig stehenden Wasser niederfällt, oder welche das aufsteigende Wasser besitzen muss, um sein Niederfallen zu verhindern, ist nach Rittinger[1])

$$v = 2.44 \sqrt{D(\delta - 1)},$$

in welcher Formel

D den Durchmesser einer Sieböffnung bezeichnet, durch welche der betreffende Körper hindurchfallen kann; und

δ das specifische Gewicht desselben angiebt.

Diese Formel bestätigt in bündiger Form das Gesagte. Es ist demnach erforderlich, die Steinkohlen, ehe sie durch Waschen gereinigt werden können, einer Classirung, d. h. einer Sonderung nach der Korngrösse zu unterwerfen. Da aber die einzelnen Kohlenstücke noch um so mehr fremde Bestandtheile eingeschlossen enthalten, je grösser sie sind, so ist es ferner erforderlich, eine Zerkleinerung der ausgesonderten grösseren, insbesondere auch der durchwachsenen, Kohlenstücke vorzunehmen; und die sämmtlichen, für die Aufbereitung der Kohlen auszuführenden Arbeiten sondern sich deshalb in folgende drei Gruppen:

1) Zerkleinerung.
2) Classirung.
3) Sortirung (Waschen).

---

1) Rittinger, Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Berlin 1867, S. 191.

Selten jedoch oder niemals ist mit einer einmaligen Aufeinanderfolge dieser Arbeiten schon der beabsichtigte Zweck erreicht. So z. B. pflegt man schon vor der ersten Zerkleinerung eine Sonderung der gröberen und der weniger groben Stücke vorzunehmen; nach einmaliger Zerkleinerung werden dann die gröberen und feineren Stücke abermals geschieden, aus den gröberen aber bisweilen die besonders durchwachsenen ausgesucht, um nochmals zerkleinert zu werden; u. s. f. Das aus den ersten Setzapparaten abfliessende Wasser (die Trübe) enthält grössere Mengen feiner Kohlentheilchen, welche aus demselben abgeschieden werden müssen, theils um noch nutzbar gemacht zu werden, theils um das Wasser aufs neue verwendbar für die Wäsche zu machen; von den gleichfälligen Bergen lässt sich dann diese Feinkornkohle wieder durch Classirung trennen; so zeigt die Einrichtung und der Betrieb einer Kohlenwäsche ein oft recht complicirtes Ineinandergreifen zahlreicher Arbeiten.

Die Zerkleinerung.

Man benutzt für dieselbe eine der folgenden Maschinen.

Walzwerke. Die zu zerkleinernde Kohle wird zwischen zwei benachbarte, in entgegengesetzter Richtung sich drehende gusseiserne Walzen mit horizontalen Achsen geschüttet, vermöge der stattfindenden Reibung zwischen denselben hindurchgeführt und dabei auf die dem Abstande der Walzenoberflächen von einander entsprechende Korngrösse zerkleinert. Die Einrichtung der Kohlenwalzwerke im besondern stimmt ziemlich genau mit der Einrichtung der unten beschriebenen und abgebildeten Eisensteinswalzwerke überein.

Man pflegt Vor- oder Grobwalzwerke, zum Zerkleinern der Kohlen vor dem Waschen dienend, und Nach- oder Feinwalzwerke anzuwenden, welche zum Zermahlen der bereits gewaschenen für die Verkokung bestimmten Kohlen bestimmt sind. Erstere pflegen gerippte (cannelirte), letztere glatte Walzen zu erhalten. Der Durchmesser der Vorwalzen beträgt bis 1 m, das Verhältniss der Länge derselben zum Durchmesser 0.7—1; die Nachwalzen pflegen kleiner im Durchmesser zu sein (0.6—0.7 m), während ihre Länge dem Durchmesser annähernd gleich ist. Ein grösseres Vorwalzwerk zerkleinert per Stunde ca. 300 Ctr. trockene Kohle und gebraucht dazu einen Arbeitsaufwand von ungefähr $4^1/_2$ Pferdestärken.

Kohlenmühlen. Innerhalb eines cylindrischen Gusseisengehäuses mit senkrechter Achse und einem Durchmesser von ca. 1 m bei 0.4 bis 0.5 m Höhe dreht sich ein kegelförmiger, ebenfalls gusseiserner, Läufer. An der Innenfläche des Gehäuses und der Aussenfläche des Läufers sind rippenförmige Zähne angegossen, welche etwas geneigt gegen die Vertikale und zwar in entgegengesetzter Richtung angeordnet sind, so dass die Richtung der Zähne des Läufers die Richtung der anderen Zähne unter einem spitzen Winkel kreuzt; auch ist die Länge der einzelnen Zähne nicht gleich, so dass nur einzelne bis zum oberen Rande hinaufreichen, während sie unten sämmtlich in derselben Horizontalebene endigen. Da die Vorderflächen der Zähne sich, je weiter nach unten, desto mehr nähern, so werden die dazwischen gebrachten Kohlen

bei der Drehung des Läufers allmählich zermalmt und verlassen schliesslich die Mühle in derjenigen Korngrösse, welche dem Spielraume zwischen beiden Zahnreihen entspricht. Das Ganze hat, wie man sieht, grosse Aehnlichkeit mit der Einrichtung und Wirkungsweise einer gewöhnlichen Kaffeemühle. Die Leistung der Kohlenmühlen ist eine ziemlich beträchtliche. Nach v. Kerpely vermag eine Mühle mit einer Oberfläche des Läufers von 2 qm bei 9 Umgängen per Minute stündlich 400 Ctr. gemahlenes Haufwerk zu liefern; als ein besonderer Vortheil wird gerühmt, dass der Staubfall geringer, das Korn der zerkleinerten Kohlen gleichmässiger sei als in Walzwerken.

Backenquetschen (Steinbrecher). Da auch diese Maschinen, wie die Walzwerke, bei der Besprechung der Aufbereitung der Eisenerze ausführlicher besprochen werden, so kann hinsichtlich ihrer Einrichtung auf das dort Gesagte Bezug genommen werden. Wie für Erzzerkleinerung finden sie auch in den Kohlenwäschen neuerdings eine häufige und befriedigende Verwendung. Sie gewähren den Vortheil, dass man im Stande ist, auch grössere Stücke ohne vorausgehendes Zerschlagen zu zerkleinern; dass der Staubfall ein sehr geringer, ihre Leistungsfähigkeit eine sehr bedeutende ist, während Reparaturen nur selten erforderlich sind.

Schleudermühlen (Desintegratoren).[1] Zwei parallele Gusseisenscheiben drehen sich um horizontale Achsen in entgegengesetzter Richtung. Jede dieser Scheiben trägt zwei in concentrischen Kreisen angeordnete Reihen von Stahlstäben, welche der andern Scheibe zugekehrt sind und bis fast an dieselbe hinanreichen; die Durchmesser der einzelnen Kreise sind so gewählt, dass immer eine Reihe Stäbe der einen Scheibe zwischen zwei Reihen der benachbarten Scheibe zu liegen kommt und somit alle vier Reihen sich immer abwechselnd in entgegengesetzter Richtung drehen. Die Drehungsgeschwindigkeit der Maschine ist eine ziemlich bedeutende (ca. 20 m per Secunde in der äussersten Stabreihe); trifft nun ein Stück des zu zerkleinernden Materiales, welches innerhalb des kleinsten Ringes, in der Nähe der Achse, eingeworfen wird, auf die erste Reihe der Stäbe, so erhält es hier einen kräftig wirkenden Schlag, wird mit der empfangenen Geschwindigkeit gegen die zweite in umgekehrter Richtung laufende Reihe geschleudert u. s. f., bis es alle vier Reihen durchlaufen hat und dabei infolge der stattgehabten Einwirkungen in kleinere Stücke zertheilt worden ist.

Die Schleudermühlen sind nur zum fernern Zerkleinern solcher Stücke geeignet, welche bereits früher eine gröbliche Zerkleinerung erfahren hatten und dem Waschen unterworfen worden waren. Nach v. Kerpely's Angaben ist zum Betriebe einer Schleudermühle, welche stündlich 50 Ctr. Mahlgut zu liefern hat, eine mechanische Arbeit von 10—12 Pferdestärken erforderlich, so dass sich eine erheblich ungünstigere Ausnutzung der Arbeit als bei Walzwerken ergiebt.

---

1) Von Carr erfunden. Abbildungen derselben in A. v. Kerpely, Anlage und Einrichtung der Eisenhütten Taf. LIX, Fig. 1; A. Ledebur, Handbuch der Eisengiesserei Taf. XV, Fig. 1 und 2.

Die Classirung.

Auch hierfür sind verschiedenartige Vorrichtungen in Anwendung.

Klaubtische und Lesebänder. Dieselben werden benutzt, wenn aus den bereits classirten Kohlen noch einzelne grössere oder stark durchwachsene Stücke von Hand ausgelesen werden sollen. Klaubtische sind langsam umlaufende Gusseisenscheiben, auf welche die noch zu scheidenden Kohlen aufgestürzt werden, während die mit dem Ausklauben beschäftigten Arbeiter um den Rand her aufgestellt sind; die ausgeklaubten Stücke werden durch Lutten in tiefer stehende Wagen geworfen, die zurückgebliebenen schliesslich durch eine Abstreifvorrichtung nach jeder Umdrehung des Tisches ebenfalls in einen Wagen geschüttet.

Das Leseband ist ein aus Draht oder Hanf gefertigtes Band ohne Ende von ca. 80 cm Breite, welches über zwei Trommeln mit horizontalen Achsen im Abstande von ca. 4.5 m geführt ist, während die Trommeln sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 75 mm per Secunde drehen und das Band mit derselben Geschwindigkeit fortbewegen. Durch Rollen, welche zwischen beiden Trommeln und parallel zu denselben angeordnet sind, wird das Band gestützt. Seitlich von dem Bande sind die zum Klauben bestimmten Arbeiter aufgestellt; die Kohlen werden oberhalb der einen Trommel aufgestürzt, mit dem Bande langsam vorwärts bewegt, und die zurückgebliebenen Stücke fallen schliesslich bei der zweiten Trommel durch eine Lutte in den dafür bestimmten Wagen.

Rätter. Man bezeichnet mit diesem Ausdrucke gitterartige oder durchlochte Siebe von rechteckiger Grundfläche, unter einem Winkel von 5—20 Graden gegen die Horizontale geneigt und durch eine maschinelle Vorrichtung in schüttelnde oder schwingende Bewegung versetzt, so dass die Kohlen, welche auf der höchsten Stelle aufgeschüttet werden, allmählich die schiefe Ebene hinabrutschen, während die feineren Stücke zwischen den Stäben beziehentlich durch die Löcher des Siebes hindurchfallen. Bei dem Rätter von Briart stecken zwei Gitter ineinander, das eine liegt fest, das andere schwingt an seinem oberen Ende um eine horizontale Achse und wird dadurch abwechselnd über und unter die Ebene des festliegenden geführt; bei einer von Lührig eingeführten Form dieses Briart'schen Rätters (kurzweg Briart genannt) schwingen beide Gitter abwechselnd.

Die Rätter werden gewöhnlich zur vorläufigen Sonderung der allergröbsten Kohlenstücke von den übrigen benutzt; will man eine mehrmalige Classirung damit herbeiführen, so ist natürlich für jede neue Classe auch ein neues Rätter erforderlich (z. B. für in Summa drei Classen gebraucht man zwei Rätter); verschiedene Rätter für dieselben Kohlen pflegt man dann unter einander anzuordnen.

Trommeln (Separationstrommeln). Es sind dieses die allgemein angewendeten Vorrichtungen, um die Kohlen in mehrere Classen zu sondern, und sie kommen somit gewöhnlich nach den Rättern zur Verwendung. Sie bestehen aus conischen oder cylindrischen, an beiden Enden offenen Behältern, entweder aus Drahtgeflecht mit bestimmter

Maschenweite oder der grösseren Haltbarkeit halber aus gelochtem Eisenbleche gefertigt und um eine horizontale oder schwach geneigte Achse gedreht, so dass hierbei die feineren Stücke durch die Oeffnungen hindurchfallen. Obgleich — wenigstens bei den conischen Trommeln und den horizontalen Trommeln mit geneigter Achse — die Vorwärtsbewegung der Kohle schon durch ihr eigenes Gewicht auf der geneigten Ebene bewirkt wird, so pflegt man doch zur besseren Regelung dieser Bewegung im Innern der Trommeln eine oder auch zwei schraubenförmig gewundene Rippen aus gebogenem Winkeleisen zu befestigen, so dass Schraubengänge entstehen, in denen die Kohle vorwärts gleitet. Indem man nun jede Trommel ihrer Länge nach in mehrere Abtheilungen mit verschiedenen Lochweiten eintheilt, erhält man beim einmaligen Durchgange der Kohle durch die Trommel ebenso viele Classen als Abtheilungen vorhanden sind.

Man pflegt Vortrommeln und Vertheilungstrommeln (letztere auch wohl im engern Sinne als Classirtrommeln bezeichnet) anzuwenden. Die Vortrommeln, welche in Längen von 1.25—4 m bei 1 bis 2.5 m Durchmesser gefertigt werden, sondern die gröbsten Stücke von den übrigen und diese häufig von der Staubkohle (bis zu 5 oder 6 mm Durchmesser). Für letzteren Zweck ist dann um die eigentliche Trommel herum und concentrisch zu derselben noch eine zweite, im Durchmesser grössere, Trommel angeordnet, welche nur die Staubkohle hindurchfallen lässt. Die Ablösung des an den grösseren Stücken haftenden Staubes erleichtert man nicht selten durch Anwendung einer kräftig wirkenden Brause, welche Wasser gegen die Trommeln ausströmt.

Die Vertheilungstrommeln sind mit so vielen Abtheilungen versehen, als Kohlenclassen für die Wäsche gebildet werden sollen; unter jeder Abtheilung pflegt eine eigene Lutte angeordnet zu sein, welche die durchfallende Kohle sofort ihrem Bestimmungsorte zuführt.

Aus dem Umstande, dass bei der Wäsche stets kleinere Körner von grösserem specifischen Gewichte neben grösseren von geringerem specifischen Gewichte niederfallen werden, sofern der Unterschied in der Korngrösse über ein gewisses vom specifischen Gewichte abhängiges Maass hinausgeht, lässt sich theoretisch die erforderliche Abstufung in den Lochdurchmessern für die einzelnen Classen ableiten. Hat man zwei Körner von den Durchmessern D_1 und D_2 und den verschiedenen specifischen Gewichten δ_1 und δ_2, so ergiebt sich aus der auf S. 48 mitgetheilten Formel für die Geschwindigkeit derselben im Wasser das Verhältniss für die Gleichfälligkeit:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\delta_2 - 1}{\delta_1 - 1}.$$

Beträgt also das specifische Gewicht der Steinkohle 1.3, dasjenige der verunreinigenden Bestandtheile 2, so würde

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{2 - 1}{1.3 - 1} = 3.33$$

sein, d. h. der Durchmesser der grössten Steinkohlenstücke darf, wenn die Setzarbeit ein befriedigendes Ergebniss liefern soll, höchstens 3.3 Mal so gross sein als der kleinste Durchmesser der Berge, oder, mit anderen

Worten, die Lochweiten der Trommeln dürfen höchstens in dem Verhältnisse 1 : 3.3 auf einander folgen. Die Rücksicht auf die Bestimmung der Kohlenclassen spricht jedoch hierbei ebenfalls mit, und nicht selten findet man deshalb eine weit umfänglichere Classirung als gerade für die nachfolgende Sortirung unbedingt nothwendig sein würde.[1])

Die Sortirung oder das Waschen.

Die Setzsiebe. Dieselben bilden in allen Fällen die wichtigsten Apparate zum Sortiren, wenn auch sie nicht selten noch durch andere, unten erwähnte Vorrichtungen ergänzt werden. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem unter Wasser angeordneten Siebe zur Aufnahme der zu waschenden Kohlen. Bei den meisten Setzmaschinen liegt das Sieb fest, das Wasser wird von unten her stossweise in die Höhe gedrückt, hebt dabei die leichteren Kohlen empor und entführt sie durch eine in der Seitenwand des Behälters angebrachte Oeffnung nach einem Sammelbehälter, während die Berge auf dem Siebe zurückbleiben (Siebsetzapparate). Das zurückbleibende Wasser tritt dann langsam (um nicht saugend auf die gehobenen Kohlen zu wirken) zurück, um nach Ergänzung des verbrauchten Wassers durch frisches einen neuen Stoss auszuführen.

Bei einer anderen, weniger gebräuchlichen Gattung von Setzmaschinen (Marsaut's Kohlenwäsche) wird das Setzsieb selbst, nachdem es mit Kohlen beladen ist, stossweise um mehrere Meter im Wasser gesenkt, und die Körner sondern sich beim Niederfallen in einzelne Lagen, welche dann, nachdem das Sieb wieder emporgehoben wurde, durch eine Abstreichvorrichtung horizontal von demselben abgeschoben werden (Stauchsiebwäschen).

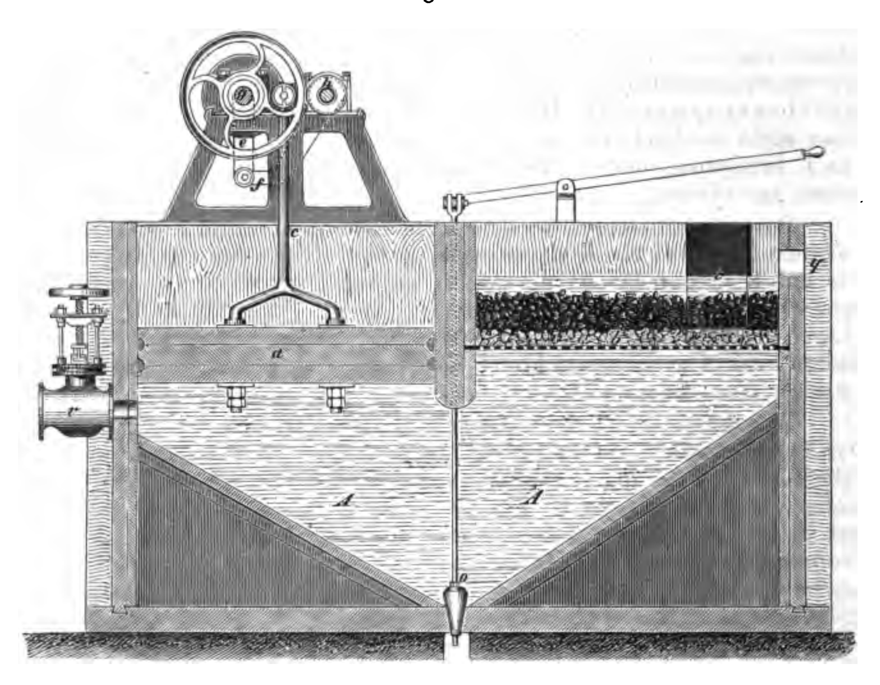
Eine Setzmaschine der ersteren Gattung neueren Systemes (Lührig's Grobkornsetzmaschine) ist in Fig. 2 und 3 in $^1/_{30}$ der wirklichen Grösse abgebildet. Der aus Holzpfosten gezimmerte und mit hölzernem Einsatze versehene Kasten *A* von 2.56 m Länge, 0.8 m Breite, 1.5 m Höhe ist in der Mitte seiner Länge durch eine Zwischenwand in zwei unten verbundene gleich grosse Hälften getheilt, in deren einer sich der senkrecht bewegliche Kolben *a* befindet, während die zweite das aus Eisen gefertigte, von hölzernen Stäben getragene Sieb *b* enthält. Der Kolben hängt an zwei gegabelten Stangen *cc* und ist somit, um eine sichere Bewegung zu erhalten, im Ganzen an vier Punkten aufgehängt; von der Welle *g* aus, welche durch einen Riemen von einer Haupttransmissionswelle aus angetrieben wird, empfangen die Kolbenstangen durch Vermittelung einer an der Kurbelscheibe *d* (Fig. 3) befindlichen Kurbelwarze, der Schubstange *e* und des Kniehebels *f* (Fig. 2) eine auf- und abgehende Bewegung, und zwar infolge der Einschaltung eines besonderen, in der Abbildung nicht erkennbaren, Mechanismus (Coulissenhebel oder

---

1) So z. B. classirt man bei einigen Zwickauer Kohlenwerken folgendermaassen: Würfelkohle I 45—60 mm; Würfelkohle II 32—45 mm; Knörpelkohle 20—32 mm; Nusskohle I 12—20 mm; Nusskohle II 6—12 mm; Klarkohle 0—6 mm; also mit erheblich geringeren Verhältnissen in den Trommellochweiten, als es die Sortirung erfordert. Fast jedes Werk hat seine besondere Classirung.

dergl.) zwischen Kurbelwarze und Schubstange raschen Niedergang und langsamen Rückgang, wodurch das Wasser unter dem Kolben stossartig über dem Siebe in die Höhe gedrückt wird, um dann langsam zurückzugehen. Die durch das Wasser emporgehobenen Kohlen treten mit demselben durch den die ganze Breite der Vorderwand einnehmenden Schlitz *q* aus dem Kasten aus, um hier in einer Trommel oder anderen Vorrichtung aufgefangen und vom Wasser befreit zu werden; die Berge sinken auf das Sieb zurück und fallen, wenn sie sich hier in genügender Menge angesammelt haben, durch die Oeffnung *i*, deren Höhe durch einen Schieber geregelt werden kann (Fig. 3), in den Bergetrog *k*, von wo aus sie durch ein Schöpfrad *m* (ein an dem Umfange mit eisernen Bechern versehenes Rad) emporgehoben und in die Lutte *p* geworfen

Fig. 2.



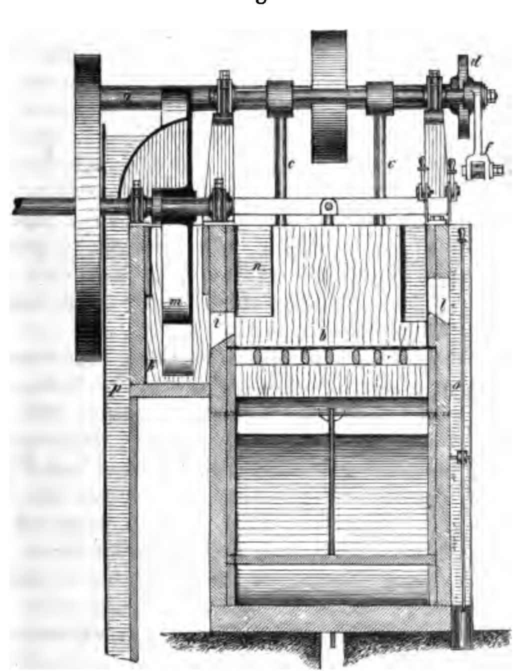
werden, während die in dem Bergetroge befindliche und mit ausgeschöpfte Trübe durch Oeffnungen in den Wänden der Schöpfbecher nach *k* zurückfliesst. Damit nicht Kohlenstücke mit in den Bergetrog gelangen, ist die Oeffnung *i* durch einen Schirm *n* von oben her abgedeckt. Für den Fall, dass die zu waschende Kohle mit durchwachsenen, also specifisch schwereren Stücken vermischt ist, befindet sich der Oeffnung *i* gegenüber, aber etwas höher als diese, eine zweite Oeffnung *l* in der Wand des Setzkastens, durch welche die über den Bergen und unter den reineren Kohlen liegenden durchwachsenen Stücke in den Behälter *o* (Fig. 3) fallen, wo sie gesammelt werden, um später einer wiederholten Zerkleinerung unterzogen zu werden.

Das bei jedem Hube der Maschine mit den Kohlen abfliessende Wasser wird durch frisch zufliessendes ersetzt, dessen Menge durch entsprechende Oeffnung des Zulassventiles *v* geregelt wird.

Durch die Oeffnungen des Setzsiebes hindurch gelangt ein Theil der klaren Berge mit dem zurückfliessenden Wasser in den unteren Theil des Setzkastens, sammelt sich hier an der tiefsten Stelle und wird von Zeit zu Zeit durch Oeffnung des Ventiles *o* (Fig. 2) in ein unter demselben befindliches Gerinne abgelassen.

Das Eintragen der zu waschenden Kohle geschieht, wie schon früher bemerkt wurde, durch eine von der Vertheilungstrommel kommende Lutte über den Rand des Kastens hinweg, und der Betrieb geht ununterbrochen fort. Die Maschine macht 60—70 Hübe per Minute,

Fig. 3.



wobei durchschnittlich 150 Ctr. Kohle per Stunde gewaschen werden können.

Ausser den Grobkornsetzmaschinen pflegt eine Kohlenwäsche einige Feinkorn- oder Schlammkohlensetzmaschinen zu enthalten, dazu bestimmt, den Kohlenstaub, welcher theils schon beim Classiren, wie erwähnt, abgeschieden, theils aus der von den Setzkasten abfliessenden Trübe gesammelt wird, einem Reinigungsprocesse zu unterziehen. Von den Grobkornsetzmaschinen unterscheiden sie sich im Wesentlichen ausser durch geringere Abmessungen durch eine grössere Zahl Hübe (130—175 per Minute) von sehr geringer Höhe (ca. 40 mm), so dass nur eine schwache Bewegung des Wassers auf dem Siebe sichtbar

wird. Letzteres ist durch ein aus Stücken Feldspath oder Quarz gebildetes Bett abgedeckt.

Auf ähnlichen Grundsätzen wie die Lührig'sche Kohlenwäsche beruhen die schon älteren Wäschen von Rexroth, Sievers, Bérard u. a. Eigenthümlich ist die Kohlenwäsche von Evrard, bei welcher Dampfdruck statt des Kolbens auf die Wasseroberfläche wirkt; und die Wäsche von Coppée, bei der eine Druckpumpe die Stelle des Kolbens vertritt.

Spitzkästen. Diese durch Rittinger zuerst für die Erzaufbereitung eingeführten Apparate finden in neuerer Zeit ziemlich regelmässige Anwendung auch in den Kohlenwäschen, um aus der von den Setzkästen abfliessenden Trübe die mitgenommenen feineren Kohlenstückchen abzuscheiden. Sie bestehen aus hölzernen Gefässen mit schrägen Seitenwänden, unten in eine Spitze endigend, gewöhnlich einer umgekehrten Pyramide ähnlich. An der tiefsten Stelle des Spitzkastens ist ein verschliessbarer Auslass angebracht. Die Trübe fliesst von der einen Seite über den Rand des Kastens ein, geht langsam durch den Kasten hindurch, hierbei nach Maassgabe ihrer Geschwindigkeit sämmtliche gleichfällige Körner absetzend, welche an den schrägen Wänden hinabrutschen und sich unten sammeln, und fliesst dann an der entgegengesetzten Seite ab. Durch Vereinigung mehrerer Spitzkästen, deren Grösse in der Richtung des Wasserstromes mehr und mehr zunimmt (so dass die Geschwindigkeit des Wassers in jedem folgenden Kasten langsamer wird), zu einem System lässt sich eine Sortirung der Kohlen bewirken; in dem ersten Kasten werden die stärksten niederfallen, in jedem folgenden eine klarere Sorte.

Gerinne, Flutherwäschen, Klärbassins. In allen diesen Vorrichtungen findet gemäss dem oben geschilderten Verhalten fester Körper im Wasser eine Ablagerung von Kohlenstückchen und gleichfälligen Bergen in mehr oder minder langsam fliessenden, beziehentlich (bei den Klärbassins) im stehenden Wasser statt. Die Gerinne und Flutherwäschen können demnach bei ausreichender Länge wiederum als Mittel für die Sortirung benutzt werden, da die mitgeführten Körner sich gemäss ihrer Grösse und ihres specifischen Gewichtes in verschiedenem Abstande von der Eintrittsstelle ablagern werden; Klärbassins haben den Zweck, der zuletzt übrig gebliebenen Trübe die nöthige Ruhe zum Absetzen der noch in ihr vorhandenen Schlammtheilchen zu gewähren und solcherart das Wasser für die Benutzung bei den Setzkästen brauchbar zu machen.

Ausser den beschriebenen Vorrichtungen zum Zerkleinern, Classiren und Sortiren bedarf eine Kohlenwäsche einer Anzahl maschineller Vorrichtungen, um die ankommenden Wagen rasch zu entleeren, Kohlen und Berge auf ein höheres Niveau zu heben u. s. f. Denn aus der gegebenen Beschreibung der einzelnen Hauptvorrichtungen folgt schon, dass für ein regelmässiges Zusammenwirken die Aufstellung derselben in verschiedenen Höhenabtheilungen der Kohlenwäsche erforderlich ist; die classirten Kohlen fallen durch eine Lutte abwärts nach den Setzapparaten, von hier geht es abermals abwärts nach den Spitzkästen u. s. w. Einzelne der erfolgenden Kohlen müssen wieder an die hoch

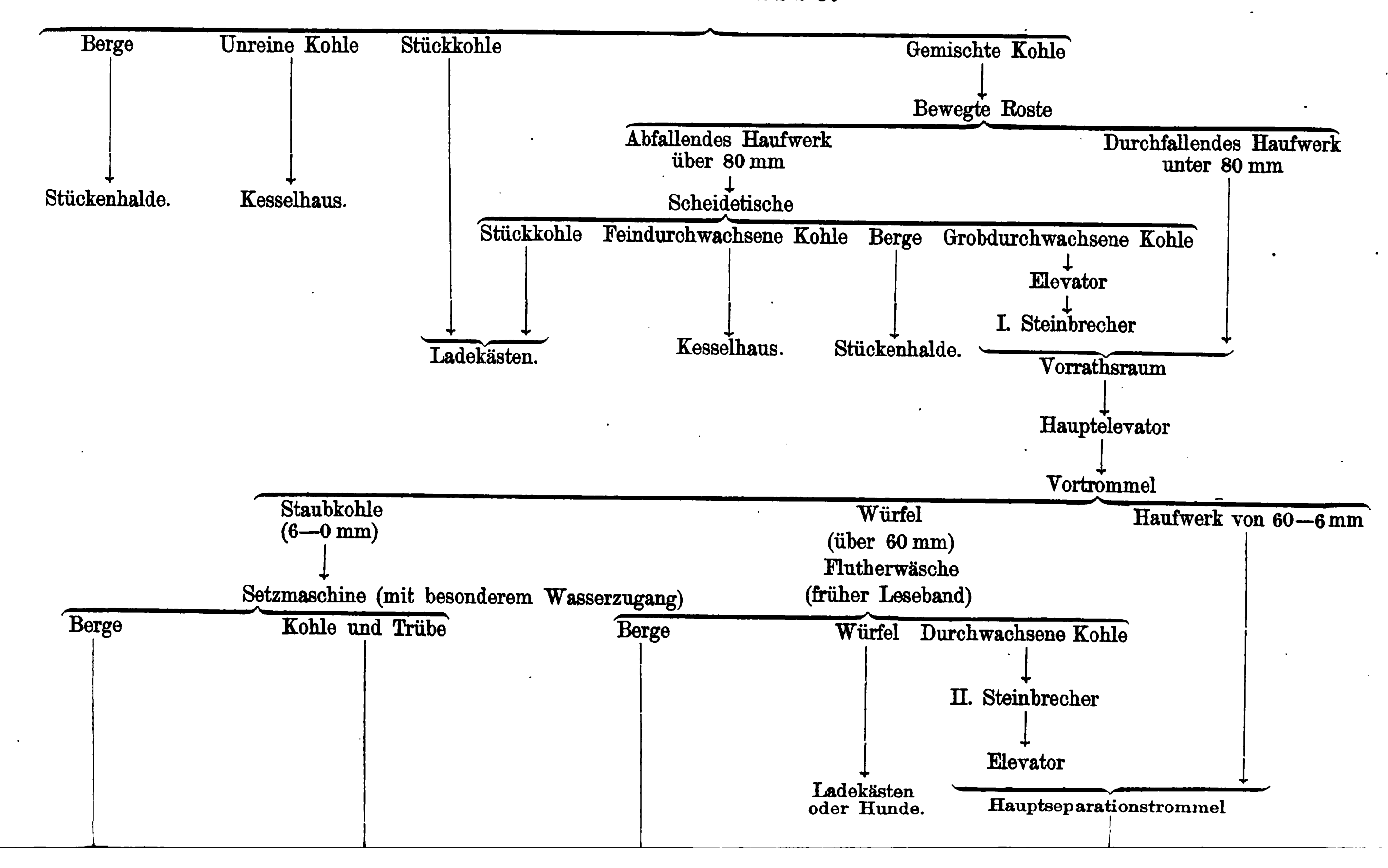
gelegenen Zerkleinerungsapparate zurückbefördert werden, Berge müssen, um auf die Halde gestürzt werden zu können, gehoben werden, u. s. w.

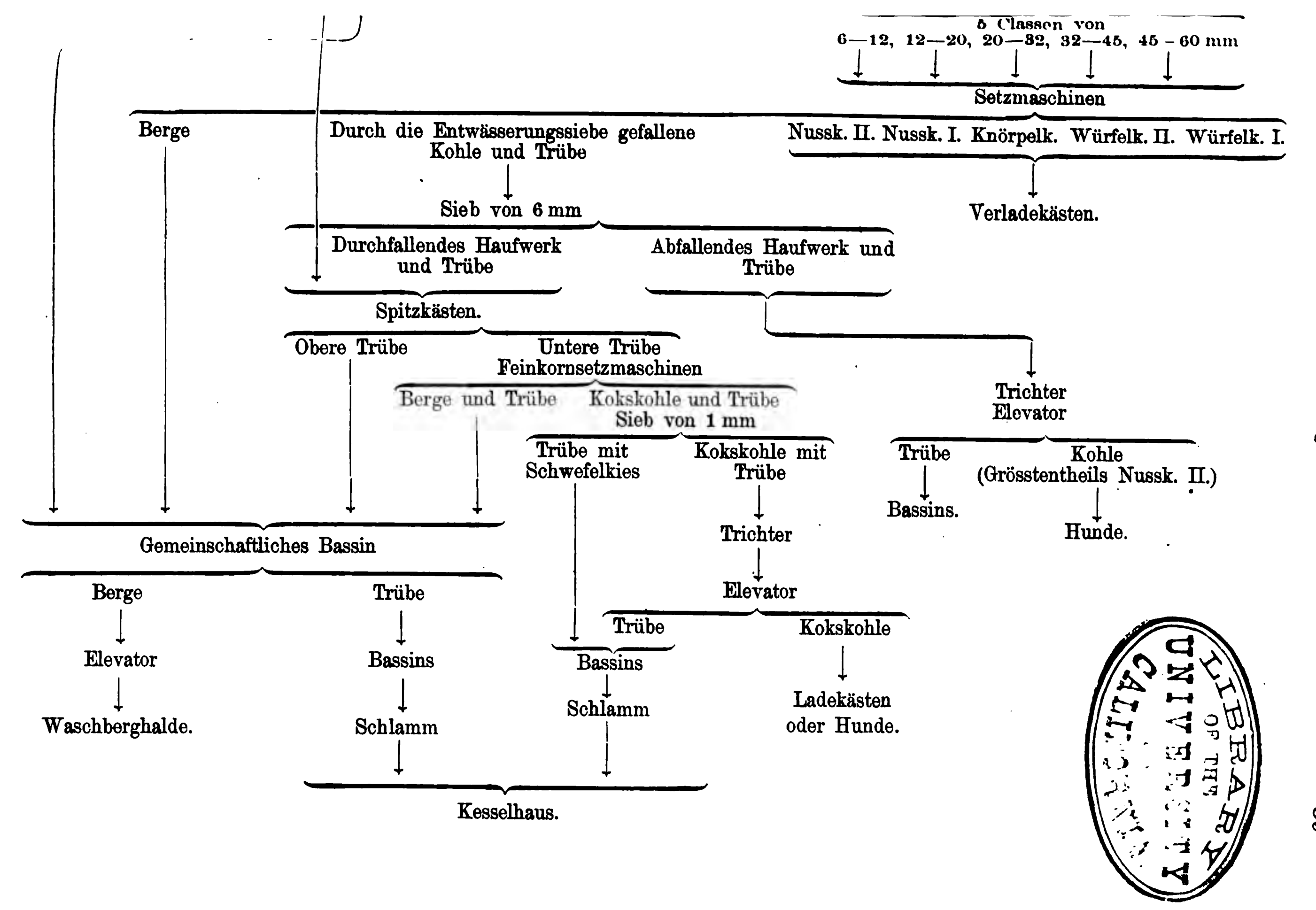
Für die Entleerung der Kohlenwagen dienen mechanische Kippvorrichtungen, mit deren Hilfe der ankommende Wagen selbst gekippt wird. Eine der üblichsten dieser Vorrichtungen ist der sogenannte Kreiselwipper, bestehend aus einem Paar aufrecht stehender, paralleler, starker Eisenringe in entsprechendem Abstande von einander, durch Querschienen unter einander verbunden und auf vier Rollen ruhend. Durch Handkurbel und Getriebe, oder, besser noch, von einer durch Elementarkraft betriebenen Transmissionswelle aus durch Frictionsrollen lässt sich der Kreiselwipper in langsame Drehung um seine, durch die Mittelpunkte beider Ringe gehende Achse versetzen. Zuvor wird der zu entleerende Förderwagen auf Schienen, welche von einem Ringe zum andern hinüberführen, dazwischen geschoben und durch irgend eine einfache Vorrichtung in seiner Stellung festgehalten, so dass er die Drehung mitzumachen gezwungen ist.

Als mechanische Vorrichtungen zum Heben der Kohlen (Elevatoren) pflegt man Becherwerke (Paternosterwerke) zu benutzen. Jedes Becherwerk besteht aus zwei endlosen parallelen Ketten mit langen, aus flachen Stäben gebildeten Gliedern. Oben und unten ist jede dieser beiden Ketten über einen sechsseitigen Radstern geführt und beide zu einander gehörigen Radsterne sind durch querlaufende Eisenstäbe in den Ecken des Sechseckes zu einem Art Korbe verbunden. Von einer Transmissionswelle aus wird die Achse eines der beiden Körbe in Drehung versetzt, wodurch nunmehr auch beide Ketten umlaufende Bewegung erhalten. Letztere aber sind durch Querstäbe am Ende jedes Gliedes ebenso wie die Radsterne unter einander verbunden und an jedem dritten Querstabe ist ein eiserner Becher von ca. 15—20 l Inhalt angenietet, welcher die Bewegung der Ketten mitmacht, an der tiefsten Stelle in die Aufschüttung der zu fördernden Körper eintaucht, sich füllt, dann emporsteigt und an der höchsten Stelle beim Beginne des Niederganges, welchen er natürlich in umgekehrter Stellung ausführt, sich wieder entleert.

Die Art und Weise, wie die einzelnen Arbeiten einer Kohlenwäsche ineinander greifen, wird am besten durch folgenden, von Kreischer mitgetheilten, Stammbaum der Lührig'schen Kohlenwäsche beim Brückenbergschachte zu Zwickau veranschaulicht (S. 58 u. 59).

Es ist leicht erklärlich, dass auch die sorgfältigste Aufbereitung nicht im Stande ist, die Steinkohlen vollständig von ihrem Aschengehalte zu befreien. Wie weit dieses möglich ist, hängt zum grössten Theile von der Beschaffenheit der Kohle selbst sowie der begleitenden fremden Körper ab. Eine stark durchwachsene Kohle und eine solche, deren fremde Bestandtheile leicht Staubform annehmen, wird immer bei der Aufbereitung einen grösseren Aschengehalt behalten. Als Beispiel möge die Notiz einen Platz finden, dass in der erwähnten Wäsche des Brückenbergschachtes der Aschengehalt einer aschenreichen Kohle mit durchschnittlich 25 Proc. Asche auf 5—6 Proc. abgemindert wird, wobei per Stunde 800 Ctr. Kohle gewaschen werden.


Fördermasse.
Berge
Stückenhalde.
Unreine Kohle
Kesselhaus.
Stückkohle
Ladekästen.
Gemischte Kohle
Bewegte Roste
Abfallendes Haufwerk über 80 mm
Scheidetische
Stückkohle
Feindurchwachsene Kohle
Kesselhaus.
Berge
Stückenhalde.
Grobdurchwachsene Kohle
Elevator
I. Steinbrecher
Durchfallendes Haufwerk unter 80 mm
Vorrathsraum
Hauptelevator
Vortrommel
Staubkohle (6—0 mm)
Setzmaschine (mit besonderem Wasserzugang)
Berge
Kohle und Trübe
Würfel (über 60 mm) Flutherwäsche (früher Leseband)
Berge
Würfel
Ladekästen oder Hunde.
Durchwachsene Kohle
II. Steinbrecher
Elevator
Haufwerk von 60—6 mm
Hauptseparationstrommel


5 Classen von
6—12, 12—20, 20—32, 32—45, 45 - 60 mm
Setzmaschinen
Berge
Durch die Entwässerungssiebe gefallene Kohle und Trübe
Nussk. II. Nussk. I. Knörpelk. Würfelk. II. Würfelk. I.
Sieb von 6 mm
Verladekästen.
Durchfallendes Haufwerk und Trübe
Abfallendes Haufwerk und Trübe
Spitzkästen.
Obere Trübe
Untere Trübe
Feinkornsetzmaschinen
Berge und Trübe
Kokskohle und Trübe
Sieb von 1 mm
Trichter
Elevator
Trübe mit Schwefelkies
Kokskohle mit Trübe
Trübe
Kohle (Grösstentheils Nussk. II.)
Bassins.
Hunde.
Gemeinschaftliches Bassin
Trichter
Elevator
Berge
Trübe
Trübe
Kokskohle
Elevator
Bassins
Bassins
Waschberghalde.
Schlamm
Schlamm
Ladekästen oder Hunde.
Kesselhaus.

7. Der Koks.

Darstellung.

Beim Erhitzen der Steinkohle zum Glühen entweichen Wasser, Kohlenwasserstoffe, Ammoniakwasser, Kohlensäure u. s. w., während der Koks zurückbleibt. Schon die früheren Mittheilungen über die Eigenschaften der verschiedenen Steinkohlenarten lassen erkennen, dass diese sich ziemlich abweichend bezüglich der Menge des bleibenden Rückstandes verhalten, und es wurde auch bereits hervorgehoben, dass in dieser Beziehung selbst zwei Steinkohlensorten, deren chemische Zusammensetzung scheinbar ganz die nämliche ist, doch ein verschiedenes Verhalten zeigen können. Ein Umstand, welcher bei der Verkokung noch ganz besonders in Betracht kommt, ist die Einwirkung, welche die Structur der Steinkohlen durch das Verkoken erleidet. Während einzelne Kohlen, wie erwähnt, mürbe werden, Risse bekommen oder wohl gar pulverförmig zerfallen (Sandkohlen) oder doch ihre Form unverändert beibehalten (anthracitische Kohlen), erweichen andere, backen oder schmelzen förmlich zusammen und blähen sich dabei mehr oder weniger auf, je nach der Menge der entweichenden flüchtigen Erzeugnisse und der Eigenthümlichkeit ihres Aggregatzustandes in der Wärme. Diese den Backkohlen zukommende Eigenthümlichkeit gewährt nun nicht allein die Möglichkeit, Kohlen, welche in kleinstückigem Zustande gewonnen wurden, zu grossstückigen, festen Koks zu verarbeiten, sondern, was noch erheblich wichtiger ist, sie giebt uns ein Mittel, selbst aus aschenreichen Steinkohlen noch verhältnissmässig aschenarme Koks darzustellen, indem man sie zerkleinert und einem Waschprocesse, wie oben beschrieben wurde, unterwirft.

Aus diesem Grunde bilden die backenden Kohlen, nachdem sie in der erwähnten Weise aufbereitet wurden, das vorwiegend benutzte Material für die Verkokung. Anderntheils ist das Ausbringen an Koks, wie sich aus früheren Mittheilungen über die Eigenschaften der Steinkohlenarten ergiebt, um so reichlicher, der Verkokungsprocess also um so lohnender, je näher die backenden Kohlen in ihren Eigenschaften den anthracitischen Kohlen stehen; d. h. die kohlenstoffreicheren und gasärmeren Kohlen (kurzflammige Backkohlen, S. 45) eignen sich in ökonomischer Beziehung besser für den Verkokungsprocess als die, freilich besser backenden, aber gasreicheren gewöhnlichen Backkohlen (S. 44) und langflammigen Backkohlen. Aber auch die Eigenschaften des erfolgenden Koks sind von dem Verhalten der Steinkohle im Feuer abhängig. Gasreiche, leicht backende Steinkohlen geben infolge ihres starken Aufblähens poröse, specifisch leichte Koks, gasärmere Kohlen geben dichte, specifisch schwerere Koks. Je poröser, specifisch leichter der Koks ist, desto mehr neigt derselbe beim Verbrennen zur Kohlenoxydgasbildung, einen desto grösseren Raum nimmt er ein, desto grösser ist mithin auch die Wärmeabgabe im Verbrennungsraume an die umgebenden Ofenwände u. s. w., desto niedriger seine Verbrennungstemperatur, und desto leichter findet ein Zerdrücken oder Zerreiben desselben statt. Dichtere Koks sind, eben weil sie eine geringere Oberfläche darbieten, schwerer verbrennlich, neigen deshalb stärker zur

Kohlensäurebildung, liefern höhere Verbrennungstemperaturen und sind widerstandsfähiger gegen mechanische Einflüsse. Aus diesen Gründen zieht man dichtere Koks für die meisten Verwendungen den poröseren, leichteren Koks vor, wenn auch nicht ausser Acht gelassen werden darf, dass bei der Verwendung für einen reducirenden Schmelzprocess, wie z. B. im Eisenhochofen, bei welchem aller freie Sauerstoff wie alle Kohlensäure möglichst rasch durch Verbrennung von Kohle zu Kohlenoxyd zum Verschwinden gebracht werden muss, eine allzu grosse Dichtigkeit des Brennstoffes keineswegs förderlich wirkt, sofern man nicht im Stande ist, durch Gegenmittel — beim Eisenhochofen Anwendung stark erhitzten Windes — der stärkeren Neigung des dichten Brennstoffes zur Kohlensäurebildung entgegen zu wirken.

Auch aus diesem Grunde, d. h. wegen der dichteren Beschaffenheit der erfolgenden Koks, zieht man im Allgemeinen die gasärmeren, weniger gut backenden Kohlen den gasreicheren als Material für den Verkokungsprocess vor. Je schwieriger aber die Steinkohle backt, desto höher muss die Temperatur bei der Verkokung sein, und desto schneller muss der Verkokungsprocess verlaufen, wenn brauchbare Koks erzielt werden sollen; anderentheils werden auch aus gasreicheren, leicht backenden Steinkohlen noch verhältnissmässig dichte Koks erfolgen können, wenn die Zersetzung nicht allzu beschleunigt verläuft, und wenn während derselben die Kohlen einem starken Drucke ausgesetzt werden, unter welchem der räumliche Inhalt der entweichenden Gase entsprechend verringert wird.

Es folgt hieraus, dass die Regelung des Verkokungsprocesses, insbesondere die Wahl des anzuwendenden Apparates, grossentheils von der Beschaffenheit der zu verwendenden Steinkohlen abhängig sein muss; und anderentheils, dass man oft im Stande sein wird, durch Vermischung mehrerer Steinkohlensorten — schlecht backender, kohlenstoffreicher mit gut backenden, gasreicheren — ein geeigneteres Material für die Verkokung zu gewinnen, als es eine einzelne der vorhandenen Sorten zu liefern vermag. Auch diese innige Vermischung verschiedener Sorten wird natürlich durch den feinstückigen Zustand erleichtert, in welchem die aufbereiteten Kohlen zur Verkokung gelangen.

Wie bei der Verkohlung des Holzes, des Torfes u. s. w. unterscheidet man bei der Verkokung der Steinkohlen Meiler- und Ofenverkokung.

Die Meilerverkokung ist die älteste Methode und der Holzverkohlung in Meilern nachgeahmt. Sie gestattet selbstverständlich nicht die Anwendung feinstückiger, also aufbereiteter Steinkohlen; zur Durchführung derselben muss, wie bei der Meilerverkohlung des Holzes, ein Theil der Kohlensubstanz selbst verbrannt werden, und das Ausbringen ist deshalb ungünstig. Es erklärt sich hieraus, dass diese Methode nur noch verhältnissmässig selten — in England und an einigen Orten Oberschlesiens — und nur da in Anwendung ist, wo aschenarme, billige Kohlen zur Verwendung stehen. In Oberschlesien (Königshütte, Borsigwerk u. a. a. O.) verkokt man in dieser Weise jene a. S. 43 erwähnten, an flüchtigen Körpern reichen Sinterkohlen und stellt daraus brauchbare

Koks für Schachtofenbetrieb dar, für welchen die rohen Kohlen eben jenes Gehaltes an flüchtigen Körpern halber weniger geeignet sein würden.

Unter den verschiedenen Verkokungsöfen tritt uns als die einfachste Form unter dem Namen Schaumburger Ofen eine Einrichtung entgegen, welche man sich als eine seitliche, oben offene, aus Mauerwerk dargestellte Begrenzung eines liegenden Meilers mit langgestreckter Grundfläche vorstellen kann. Die Wärme wird dadurch besser zusammengehalten und der Zutritt der Luft regulirt, indem man Oeffnungen in den Seitenwänden anbringt, die durch eingelegte Steine nach Belieben geschlossen werden können. Auch für backendes Kohlenklein lassen sich diese Schaumburger Oefen verwenden, die übrigens noch seltener als Meiler in Anwendung sind und mit diesen den Nachtheil eines ziemlich geringen Ausbringens gemeinsam haben (60—65 Proc.). Ihrer Einfachheit und billigen Herstellung halber bedient man sich ihrer wohl, wo die Aufgabe vorliegt, rasch eine Einrichtung zur Verkokung grösserer Kohlenmengen zu schaffen; so z. B. wurden erst im Jahre 1882 in Borsigwerk in Oberschlesien mehrere derartige Oefen gebaut.

Eine andere, aus älterer Zeit stammende Gattung von Verkokungsöfen pflegt man Bäckeröfen oder Backöfen zu nennen. Jeder dieser Oefen bildet einen geschlossenen, oben überwölbten Raum von kreisrunder oder gestreckter Grundform, unten mit einer oder zwei Thüren zum Ein- und Ausbringen, oben mit einer Abzugsöffnung für die Gase versehen. Der Ofen wird durch Verbrennung von Kohlen geheizt, dann, wenn die Wände glühend geworden sind, mit Kohlen beschickt, deren Zersetzung sofort beginnt. Die Thüren werden geschlossen und man leitet nun durch Kanäle innerhalb des Ofengemäuers Luft in das Innere über die Kohlen, um die sich entwickelnden Gase zu verbrennen und hierdurch den Ofen in Gluth zu erhalten. Nach beendigter Verkokung werden die Thüren geöffnet und die Koks mit der Krücke herausgezogen, worauf der noch glühende Ofen sofort von Neuem gefüllt wird. Immerhin ist es unvermeidlich, dass neben den Gasen durch die eintretende Luft auch ein Theil der Koks selbst verbrannt wird, ja, sogar verbrannt werden muss, damit die erforderliche Temperatur erzeugt werde; die Erhitzung aber bleibt bei dem beträchtlichen Ofenquerschnitte trotzdem eine ziemlich ungleichmässige. Lässt man die Gase ohne Weiteres aus dem Ofen austreten, so entwickeln sie beträchtlichen Rauch und belästigen die Umgebung. Es eignen sich diese Bäckeröfen der geschilderten Eigenthümlichkeiten halber mehr für gut backende, in niedriger Temperatur kokende, langflammige Kohlen als für jene, welche, reich an zurückbleibendem Koks, schwierig backen und einer hohen Temperatur für die Verkokung bedürfen. Während sie früher vielfach in Anwendung standen, sind sie in neuerer Zeit, besonders auf dem Continente, selten geworden; häufiger noch finden sie sich in England, wo die Beschaffenheit der Steinkohlen ihre Anwendung trotz des verhältnissmässig niedrigen Ausbringens und trotz der keineswegs ganz gleichmässigen Beschaffenheit der erfolgenden Koks rechtfertigen dürfte. Auch in Oberschlesien werden derartige Oefen noch angetroffen (z. B. Redenhütte). An letztgenanntem Orte führt man die aus den Oefen austretenden Gase nach höher liegenden Dampf-

kesseln, um sie hier durch frisch zugeführte Luft zu verbrennen, macht sie in dieser Weise nutzbar und verhindert die lästige Rauchentwickelung.

Bäckeröfen mit kreisrundem Querschnitte und gewölbter Decke pflegt man in England ihrer Form halber „Bienenkörbe“ (*beehives*) zu nennen.

Während bei diesen Bäckeröfen und auch bei den oben erwähnten Schaumburger Oefen die Erhitzung von innen durch die hier bewirkte Verbrennung der Gase und eines Theiles der Kohlen stattfindet, befolgt man bei allen neueren Verkokungsöfen die Regel, den Ofen von aussen zu erhitzen, indem man die aus demselben bereits ausgetretenen Gase in Kanälen ringsum den Ofen herumführt und hier verbrennen lässt.

Es ist leicht zu erkennen, dass diese Methode ungleich günstigere Erfolge liefern muss; der Ofen besteht aus einer Retorte, welche von aussen geheizt wird, die Kohlen selbst der Einwirkung der Luft ziemlich vollständig entziehend, und nur die sonst unbenutzten Gase bilden den Brennstoff. Damit aber die von aussen bewirkte Erhitzung bis in das Innere des Ofens (der Retorte) vordringe und möglichst gleichmässig sei, dürfen die Wände nicht allzu stark, der Querschnitt des Ofens nicht allzu breit und das Verhältniss zwischen der für die Erhitzung vorhandenen feuerberührten Aussenfläche zu dem räumlichen Inhalte möglichst reichlich sein; je höher die erforderliche Temperatur, je schwieriger backend also die zu verkokende Steinkohle ist, in desto grösserem Umfange müssen jene Bedingungen erfüllt werden.

Regelmässig vereinigt man bei diesen neueren Ofensystemen eine grössere Zahl einzelner Oefen zu einem gemeinschaftlichen Ganzen (einer Batterie), mitunter derartig, dass die Gase zweier oder noch mehrerer Oefen zur gemeinschaftlichen Heizung derselben vereinigt werden. In allen Fällen werden durch eine solche Anordnung die Anlagekosten ermässigt und die Wärmeausnutzung wird begünstigt.

Die Achse der einzelnen Oefen ist senkrecht oder — in den bei weitem zahlreicheren Fällen — wagerecht. Bei senkrechter Achse ist der Ofen oben und unten durch einen Deckel beziehentlich eine Klappe geschlossen, die Füllung geschieht von oben, die Entleerung von unten; bei wagerechter Achse befinden sich zwei oder mehr Füllöffnungen im Scheitel des Gewölbes, welches den Ofen von oben abschliesst, die beiden Stirnflächen aber sind durch eiserne, entweder zum Aufziehen eingerichtete oder in Thürangeln sich drehende Thüren geschlossen, und die Entleerung wird bewirkt, indem ein eiserner, dem Querschnitte des Ofens entsprechend geformter Kolben (Schild) vermittelst Zahnstange und Getriebe durch die eine Thür in den Ofen hineingedrückt wird, und so das ganze, den inneren Ofenraum ausfüllende Koksprisma vor sich her und aus der entgegengesetzten Thür hinausschiebt. Von der Einrichtung dieser Koksausdrückmaschinen wird unten ausführlicher die Rede sein.

Vielfach ist man neuerdings bemüht gewesen, die bei der Verkokung sich bildenden Nebenerzeugnisse — Ammoniakwasser und Theer — zu gewinnen und nutzbar zu machen. Henry Simon berechnete, dass allein bei den englischen Eisenwerken, welche alljährlich ca. 7 Mill.

Tonnen Koks verbrauchen, durch die Gewinnung jener Nebenerzeugnisse eine jährliche Ersparniss von 27 Millionen Mark zu erzielen sein werde (per Tonne Koks 140 kg Ammoniakwasser à 100 kg 2—2.5 ℳ und 33 kg Theer à 100 kg 3,8 ℳ). Allerdings ist hierbei nicht ausser Acht zu lassen, dass die Ausbeute an jenen Nebenerzeugnissen nach der Beschaffenheit der zur Verkokung gelangenden Kohlen eine sehr verschiedene sein wird, wie die früher mitgetheilten Ziffern (S. 43—46) beweisen, und dass sie gerade bei denjenigen Kohlen am geringsten ausfällt, welche sich am besten zur Darstellung dieser Koks eignen. Ganz allgemein wird auch die Menge des erfolgenden Theeres um so geringer sein, je stärker der Ofen erhitzt wird, da erfahrungsmässig Theerbildung in hoher Temperatur, welche zerlegend auf Kohlenwasserstoffe unter Abscheidung von Graphit und Bildung von leichtem Kohlenwasserstoffgase (CH_4) einwirkt, eingeschränkt wird.

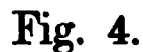
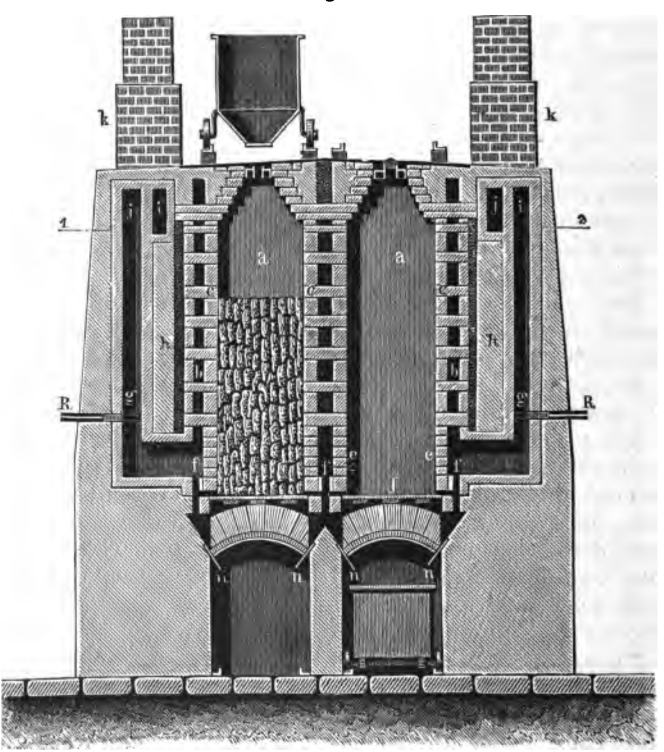


Fig. 4.



Mehrfach scheiterten derartige Versuche an der Beeinträchtigung der Koksqualität durch die Entziehung jener Nebenerzeugnisse; erst in der neuesten Zeit, seitdem der Bedarf an letzteren nicht nur erheblich gestiegen ist, hat man auch auf Eisenwerken angefangen, der Gewinnung derselben eine höhere Bedeutung beizumessen. Die aus dem Ofen austretenden Gase werden dabei nach einer Condensationsvorrich-

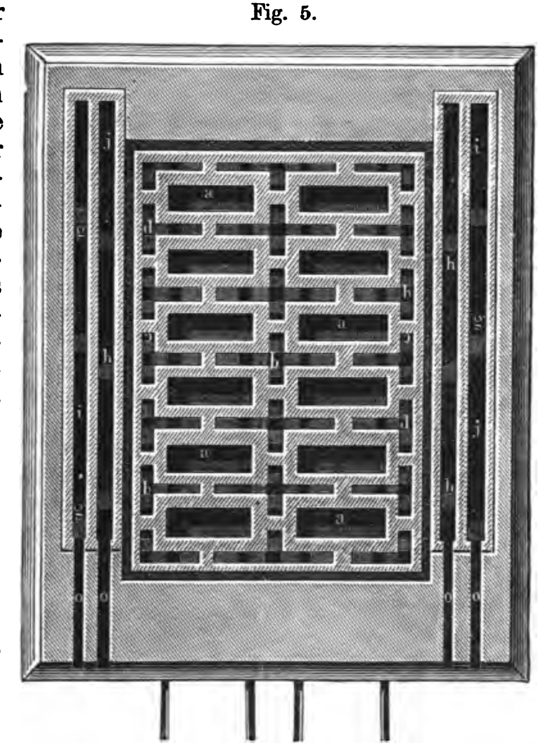
tung, gewöhnlich einem durch Wasser gekühlten Rohrsysteme, geführt, in welchem Ammoniakwasser und Theer verdichtet werden, um dann erst nach dem Ofen zurückgeleitet und hier verbrannt zu werden. Je weniger brennbare Gase überhaupt aus der Steinkohle entweichen, desto empfindlicher wird sich allerdings der hierbei eintretende Wärmeverlust für die Durchführung des Processes wie für die Qualität der Koks bemerklich machen.

Gemäss der Einrichtung der Verkokungsöfen im Besonderen giebt es eine ziemlich grosse Anzahl sogenannter Koksofensysteme, von denen einige der wichtigeren nachfolgend beschrieben werden sollen.

a) Senkrechte Oefen.

Appolt's Verkokungsofen. Derselbe, aus dem Jahre 1854 stammend, bildet die älteste und noch jetzt am häufigsten benutzte Art der Verkokungsöfen mit stehenden Kammern. Die Abbildungen Fig. 4 und 5 zeigen die Einrichtung dieses Ofens. Zwölf, oder bei einigen Anlagen achtzehn, vierseitige Oefen oder Kammern *a a* von rechteckiger Grundfläche und schlank pyramidaler Form sind von einem gemeinschaftlichen Rauhgemäuer umgeben. Die Höhe der einzelnen Kammern beträgt incl. des oberen, durch Uebertreten der letzten sechs Steinschichten sich stark verengenden Halses 5 bis 5.25 m, die Breite und Länge der Grundfläche ca. 0.43 × 1.26 m, des Ofenquerschnittes unterhalb des Halses 0.29 × 1.12 m und der quadratischen Gichtöffnung 0.29 × 0.29 m. Die Kammern werden aus feuerfesten, besonders dafür geformten Steinen mit grosser Sorgfalt gemauert und untereinander der grösseren Standfestigkeit halber durch Bindesteine *c c*, welche von einer Kammer zur andern hinübergehen, mit einander verbunden. Die langen Seitenwände der Kammern ruhen auf eisernen Trägern, deren Enden in den Pfeilern des Rauhgemäuers aufliegen und ausserdem durch gemauerte Bogen gestützt werden; solcherart ist unter jeder der beiden Reihen ein

Fig. 5.



durch den ganzen Bau hindurchführender Gang von ca. 1.8 m Höhe gebildet, von welchem aus die Bedienung der Kammern von unten, insbesondere die Entleerung derselben erfolgt. Die Gichtöffnung jeder Kammer wird während des Betriebes durch einen aufgelegten und mit Chamottemasse gut verstrichenen Deckel verschlossen gehalten; der Boden besteht aus einer eisernen Klappe, welche durch eine Aufschüttung von 125—130 kg Kokslösche vor dem Verbrennen geschützt wird, und durch deren Oeffnung man die Entleerung der Kammern in bereitstehende Wagen bewirkt. Die geneigte Form der Seitenwände der Kammern befördert hierbei das Herausstürzen der Koks, und die gusseisernen Rutschplatten *nn* führen die herausstürzenden Massen unmittelbar in die Wagen.

Die in der Kammer entwickelten Gase treten durch Spalten *ee* aus, welche, gewöhnlich in zwei Reihen übereinander, in geringer Höhe (0.6 m) oberhalb des Bodens angebracht sind, so dass die Gase die ganze Kohlensäule durchdringen müssen, ehe sie die Kammer verlassen können. Gewöhnlich sind 18 solcher Spalten in jeder Kammer, und zwar vorwiegend an den beiden breiten Seiten angeordnet (an jeder Breitseite 7, an jeder schmalen 2). In dem oberen Theile der Kammern, und zwar 1.5 m unter der Füllöffnung, befinden sich zwar ebenfalls einige Oeffnungen, werden aber fast nur beim Anheizen benutzt und später durch eingelegte Steine geschlossen.

Die austretenden Gase vereinigen sich nun in den zwischen den einzelnen Kammern und rings um dieselben herum angeordneten Kanälen, um hier durch Zuführung atmosphärischer Luft, welche theils von unten her durch die Oeffnungen *ff*, theils durch seitliche Oeffnungen im Rauhgemäuer zugeführt wird, verbrannt zu werden. Von hier aus entweichen die Verbrennungsgase durch Kanäle *f* (drei an jeder Langseite des Ofens), welche in horizontalen Kanälen *c* sich vereinigen, sowie durch ebensolche, aber von einem höheren Niveau ausgehende Kanäle *h* (Fig. 4), die sich ebenfalls oben in Horizontalkanälen vereinigen, nach den beiden Schornsteinen *kk*. Durch Register *R* ist der Zug in den Kanälen regulirbar.

Wie bei allen Verkokungsöfen beginnt der Betrieb des Appolt'schen Ofens mit dem Erhitzen der Kammern bis zum Glühen; dann wird gefüllt, und nun kann der Betrieb ununterbrochen fortgehen, indem man sofort nach beendigter Entleerung einer Kammer dieselbe von Neuem füllt. Der Einsatz in jede Kammer pflegt 1200—1400 kg zu betragen.

Die Appolt'schen Oefen gewähren den Vortheil einer sehr grossen Heizfläche im Verhältnisse zu dem räumlichen Inhalte, wie sich leicht aus dem Umstande erklärt, dass jede Kammer vollständig mit Ausnahme der beiden Stirnflächen vom Feuer umgeben ist. Nach einer von Dürre angestellten Berechnung beträgt die Innenfläche der Kammer per cbm Rauminhalt 6—7 qm, nach Kerpely die Heizfläche per 100 kg des Einsatzes mehr als 1 qm, in jedem Falle ist das Verhältniss der Innen- beziehentlich Heizfläche zum Inhalte fast doppelt so gross als bei allen Oefen mit wagerechter Achse. Das Kohlenprisma ist mit Ausnahme der beiden schmalen Stirnflächen vollständig dicht von dem Mauerwerk eingeschlossen, wodurch nicht nur die Wärmeabgabe be-

günstigt, sondern auch die Verbrennung der Kohle nach Möglichkeit beschränkt ist. Der Process verläuft infolge hiervon rasch, der Ofen ist auch zum Verkoken magerer Kohlen geeignet und das Ausbringen ist ein günstiges. Diesen unleugbaren Vortheilen aber stehen nicht allzu leicht wiegende Nachtheile gegenüber. Hierher gehört vor allen Dingen die hohe Summe der Anlagekosten, welche nach einer Berechnung von Gillon, bezogen auf die Leistung an erzeugten Koks, $^5/_3$ bis doppelt so gross ist als bei allen liegenden Oefen.[1] Ferner ist die Ausführung der Reparaturen schwierig, und besonders nachtheilig hierbei ist der Umstand, dass der ganze Ofen kalt gelegt werden muss, wenn auch nur an einigen Kammern Reparaturen nothwendig sind.

In neuerer Zeit sind verschiedene Aenderungen der ursprünglichen Form des Appolt'schen Koksofens eingeführt worden. C. Goedecke legt statt zwei Reihen Kammern deren vier nebeneinander an und fügt zwischen denselben statt der Bindesteine des Appolt'schen Ofens senkrechte Mauerzungen ein, welche ebenso wie diese die Standfestigkeit der Kammern erhöhen, dabei aber senkrechte Kanäle bilden, in denen die Gase gezwungen sind, sich auf- und abwärts zu bewegen, ehe sie in die gemeinschaftlichen Essenzüge gelangen. Je vier Kammern entlassen ihre Gase in einen gemeinsamen Kanal; die Austrittsspalten für die Gase sind bei einigen Oefen dieser Art in der ganzen Höhe der Kammern vertheilt. Eine andere wesentliche Verbesserung bei diesem Ofen gegenüber der älteren Construction besteht in der Anwendung eiserner Säulen und Balken zum Tragen des ganzen Oberbaues anstatt der gemauerten Pfeiler; dadurch wird der ganze Raum unterhalb der Retorten luftiger, leichter zugänglich, und die Entleerung der Kammern weniger beschwerlich als früher.[2]

Auch C. Palm suchte eine günstigere Erhitzung der Kammern des Appolt'schen Ofens zu bewirken, indem er zwischen den Kammern Zungen einbaute, welche, abweichend von dem Goedecke'schen Ofen, in wagerechter Lage übereinander angeordnet sind, und so die Gase allmählich ansteigend hin- und herführen, bis sie aus dem obersten Horizontalkanale in den Essenzug eintreten.[3]

b) Wagerechte Oefen.

Dieselben sind durch eine weit grössere Zahl verschiedener „Systeme" als die senkrechten vertreten. Ihre Anlagekosten sind geringer, die Reparaturen leichter ausführbar, die Bedienung einfacher; aber allerdings ist die erforderliche Grundfläche für eine gegebene Gesammtleistung reichlich doppelt so gross als bei jenen. Die Länge dieser Oefen pflegt 7—9 m zu betragen; eine Ueberschreitung dieses Maasses würde nicht nur die Bedienung, sondern auch die Erzielung einer gleichmässigen Erhitzung erschweren. Die Höhe beträgt gewöhnlich 1—1.5 m bis unter das Gewölbe, welche den Ofen oben abschliesst, oder 0.9—1 m bis zu den Austrittsöffnungen für die Gase, welche sich regelmässig an

1) Anlagekosten eines Ofens mit 18 Kammern 30 000—40 000 Mark.
2) Abbildungen dieses Ofens: Dürre, die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 261 ff.; vergl. auch Patentschrift Nr. 9853 und 7825.
3) D. R. P. Nr. 10 934.

einer der langen Seiten des Ofens befinden, und über deren Unterkante hinaus der Ofen nicht gefüllt werden darf, wenn nicht eine Verstopfung derselben eintreten soll. Die Breite des Ofens endlich ist zum Theil abhängig von der Beschaffenheit der zu verkokenden Steinkohle; je magerer dieselbe ist, je höher also die Temperatur im Inneren sein muss, desto schmaler muss, wie schon früher erwähnt wurde, der Ofen sein. Im Ganzen pflegt die Breite zwischen 0.40—0.90 m zu schwanken. Da jedoch die Temperatur in einem breiteren Ofen nicht allein niedriger, sondern auch weniger gleichmässig ist, als in einem weniger breiten, von der Gleichmässigkeit der Temperatur aber auch die gleichmässige Beschaffenheit der erfolgenden Koks abhängt, da ausserdem eben wegen der stärkeren Erhitzung des schmalen Ofens der Verkokungsprocess in demselben rascher verläuft, der Ofen also vortheilhafter ausgenutzt wird, und da endlich jene kohlenstoffreicheren Kohlen, welche nach Früherem das günstigste Ausbringen und die dichtesten Koks liefern, also durchschnittlich sich am günstigsten bei der Verkokung verhalten, wegen ihrer geringen Backfähigkeit einer hohen Verkokungstemperatur bedürfen, so zieht man in der Jetztzeit durchschnittlich die schmalen Oefen den breiteren vor und sucht, wo es angeht, durch Vermischen der gasreicheren Kohlen mit mageren, kohlenstoffreichen etwaigen nachtheiligen Einflüssen einer zu plötzlichen und starken Gasentwickelung entgegen zu wirken.

In fast allen Fällen treten die Gase an der einen Längsseite des Ofens durch eine Anzahl Oeffnungen aus, um dann, in Kanälen zwischen zwei benachbarten Oefen hinziehend, je eine Wand des einen und eine Wand des andern Ofens zu heizen und schliesslich unter die Sohle geführt zu werden, welche ebenfalls geheizt wird. Hinsichtlich dieser Gasführung jedoch lassen sich bei sämmtlichen Oefen zwei verschiedene Anordnungen unterscheiden. Bei der einen Gruppe von Oefen streichen die Züge horizontal hin und her, so dass die Gase gezwungen sind, einen ziemlich langen Weg zurückzulegen, bevor sie unter die Sohle des Ofens gelangen; bei der andern Gruppe ziehen die Gase sofort in senkrechten Kanälen, also auf dem kürzesten Wege, abwärts unter die Sohle. Wenn die erstere Anordnung scheinbar eine günstigere Ausnutzung der Wärme mit sich bringt, da die Gase bei der längeren Berührung mit den Seitenwänden auch eine grössere Menge Wärme an dieselben abgeben werden, so steht doch diesem Vortheile der Umstand entgegen, dass bei senkrechten Zügen die Seitenwände der Oefen, welche durch die grössere Zahl senkrechter, die Kanäle begrenzender Zwischenwände zwischen den beiden Nachbaröfen eine grosse Festigkeit erhalten, geringer in den Wandstärken als bei wagerechten Zügen gebaut werden können, und dadurch natürlich die Wärmeabgabe an den Innenraum entsprechend befördert wird; ferner dass, wenn die Gase bereits allzu abgekühlt unter die Sohle gelangen, dieselbe ungenügend erhitzt wird und die Beschaffenheit der erfolgenden Koks ungleichmässig ausfällt.

Ein Uebelstand, der besonders bei Verkokung gasreicher Kohlen zu Tage tritt, beruht auf der ungleichen Gasentwickelung in den verschiedenen Stadien des Processes. Bei den senkrechten Oefen, wo zahlreichere Kammern ihre Gase in gemeinschaftliche Kanäle entlassen,

gleichen sich diese Unregelmässigkeiten zum grossen Theile aus, da die Beschickung der einzelnen Kammern zu verschiedenen Zeiten erfolgt; bei den wagerechten Oefen dagegen, wo gewöhnlich die Gase nur eines einzigen Ofens in denselben Zügen verbrannt werden sollen, während der Querschnitt dieser Züge der mittleren hindurchgehenden Gasmenge angepasst ist, wird eben infolge der Veränderlichkeit dieser Gasmenge der Zutritt der Verbrennungsluft ein ziemlich unregelmässiger; entweichen weniger Gase, ist also die Gasspannung in den Zügen eine geringere, so wird eine grössere Luftmenge angesaugt werden, bei starker Gasentwickelung aber, also gerade dann, wenn eine reichlichere Menge Verbrennungsluft erforderlich wäre, wird der Zutritt derselben eben durch die stärkere Spannung der Gase verhindert. Die Folge davon ist theils eine ungleichmässige Erhitzung der Kammern, theils eine unvollständige Verbrennung der Gase und eine Ablagerung von Graphit in den Zügen infolge der Zersetzung von Kohlenwasserstoffen und somit eine Verstopfung der Züge. Verschiedentlich hat man diesen Uebelstand zu beseitigen gesucht, indem man atmosphärische Luft in den Ofen selbst eintreten liess, so dass schon hier eine theilweise Verbrennung der Gase erfolgt, ein Mittel, welches nicht ohne gleichzeitige Verbrennung von Kohle durchführbar ist; oder indem man die Gase wenigstens zweier Oefen vereinigte, um durch abwechselnde Beschickung der letzteren einen Ausgleich herbeizuführen; oder man leitet die Gase zunächst in einen geräumigen Verbrennungsraum, wo sie mit erwärmter Luft gemischt werden, um dann erst in den Heizkanälen den Ofen zu umkreisen (Lürmann's Ofen, Coppée's neuerer Ofen).

Smet's Verkokungsofen. Derselbe kann als Beispiel eines Ofens mit horizontaler Zugführung dienen, obgleich er, schon aus früherer Zeit stammend, wo er im Ruhr- und Saargebiete vielfach benutzt wurde, in der Neuzeit zum grossen Theil durch modernere Constructionen ersetzt wurde. Die Abbildungen Fig. 6 und 7 a. f. S. zeigen die Einrichtung desselben.[1]) Die Gase treten hier durch zwei im Gewölbe angebrachte Oeffnungen *a a* in zwei durch senkrechte Scheidewände *b b* von einander getrennte Kanäle *e e* an der rechten Seite jedes Ofens; jeder der beiden Gasströme streicht dann zunächst oberhalb der wagerechten Zunge *d* von der Mitte des Ofens nach dem Thürende zu, tritt durch den Schlitz *f* unter die Zunge *d*, zieht in dem Kanale *g* wieder rückwärts, um von hier aus in die Sohlenkanäle $c\ c_1$ $h\ h_1$ einzutreten und schliesslich durch die in der Mitte der Ofenlänge angebrachte, durch eine senkrechte Zunge ebenfalls in zwei Hälften getheilte Esse $l\ l_1$ zu entweichen. Jeder Ofen hat demnach, wie auch Fig. 6 deutlich erkennen lässt, seine eigene Esse. *m* in Fig. 6 ist eine der Füllöffnungen, deren jeder Ofen zwei in entsprechendem Abstande von einander besitzt (in Fig. 7 durch Punktirung angedeutet). Die Länge dieser Oefen pflegt 6—7 m, die Höhe 1.1—1.2 m, die Breite 0.65 m zu betragen. Die Verkokung pflegt bei einem Inhalte des Ofens von ca. 2500 kg eine Zeitdauer von 24 Stunden zu beanspruchen. Die Kosten der Anlage per

1) Aus A. v. Kerpely, Anlage und Einrichtung der Eisenhütten, Taf. LXIV, Fig. 1 und 2.

Fig. 6.

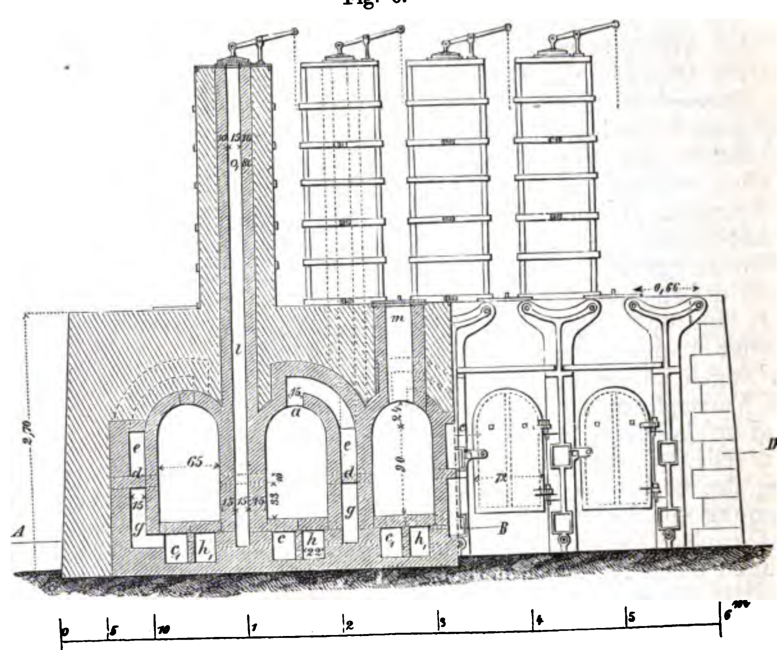
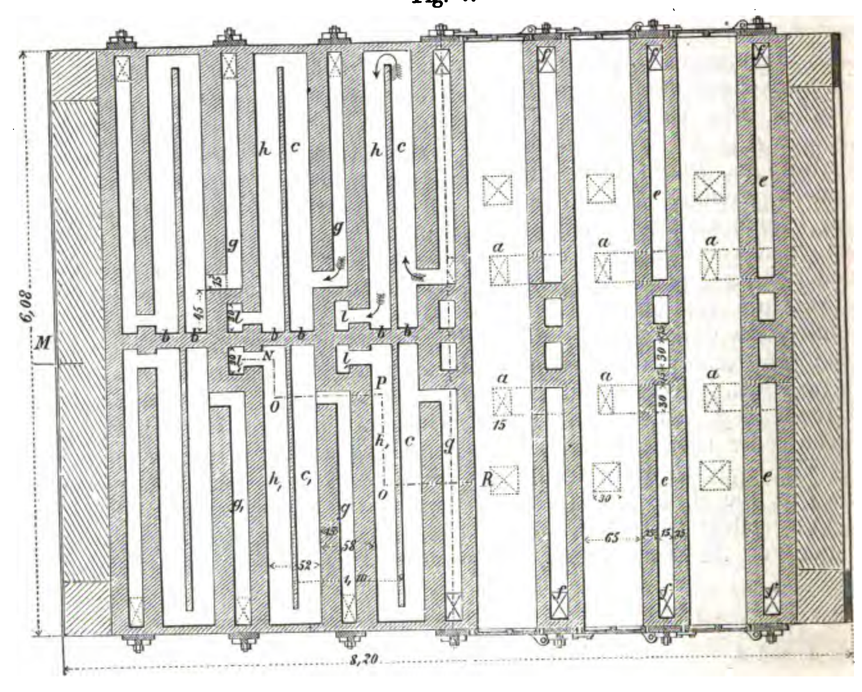


Fig. 7.



Ofen schwanken nach dem Gesammtumfange sowie örtlichen und zeitlichen Verhältnissen zwischen 1000—2000 Mark.

Fig. 6 lässt zugleich die Verankerung der Oefen und die Anbringung der Thüren erkennen. Letztere, welche zum Schutze gegen die Hitze mit feuerfestem Futter an der nach innen gekehrten Seite ausgekleidet und zu diesem Zwecke, wie in Fig. 7 ersichtlich ist, mit einem nach innen vorspringenden Rande versehen sind, drehen sich in Angeln und werden durch Vorreiber festgehalten. Die Fugen werden während des Betriebes mit Lehm verstrichen; in der oberen Thürhälfte aber sind zwei Schauöffnungen angebracht, welche zugleich den Zutritt von Luft über die Kohlen gestatten. Der Grund hierfür (erleichterte Verbrennung der Gase und Verhinderung der Graphitablagerung in den Kanälen) wurde oben besprochen.

Büttgenbach's Verkokungsofen. Derselbe, welcher auf einigen rheinischen Eisenwerken, im Plauenschen Grunde bei Dresden und an einigen anderen Orten in Anwendung ist, kann als eine neuere Form des Smet'schen Ofens betrachtet werden. Wie bei diesem ist durch eine senkrechte Zunge der gesammte für die Anordnung der Züge vorhandene Raum an der einen Seite des Ofens in zwei Hälften getheilt; die Gase aber werden nicht, wie bei dem Smet'schen Ofen, ebenfalls getheilt, sondern sie treten sämmtlich, und zwar durch elf Austrittsspalten statt der zwei des vorerwähnten Ofens, in die erste jener Hälften ein, ziehen über der horizontalen Zunge, die wie beim Smet'schen Ofen angeordnet ist, nach vorn, unter derselben bis zur Mitte zurück, treten hier, ebenfalls wie bei jenem, unter die Sohle, unter welcher sie in deren ganzen Längenausdehnung hin- und zurückgeführt werden, um nunmehr an der andern Seite der vorerwähnten senkrechten Zunge in die zweite Hälfte der seitlichen Züge einzutreten und hier in entgegengesetzter Richtung als in der ersten wieder nach dem Scheitel des Ofens aufzusteigen, wo sie von einem gemeinschaftlichen, quer über sämmtliche Oefen hinweg führenden Hauptkanale aufgenommen und nach einer gemeinschaftlichen Esse geführt werden.

Vor dem älteren Smet'schen Ofen besitzt der Büttgenbach'sche den Vortheil zahlreicherer Gasausströmungen (die sich übrigens auch bei jenem anordnen lassen würden) und einer gemeinschaftlichen Esse; zu befürchten ist, dass die Erhitzung der zweiten Hälfte der Kammer, welche erst von den Gasen geheizt wird, nachdem diese bereits die vordere Hälfte und die Sohle erwärmt haben, mitunter merklich geringer als die der ersten Hälfte ausfallen werde.

Jedenfalls ist die Zugführung nicht für eine sehr starke Erhitzung geeignet und der Ofen deshalb auch vorwiegend zur Verkokung gasreicherer, gut backender Kohlen bestimmt. Aus diesem Grunde auch giebt man ihm einen beträchtlichen Querschnitt, 0.87 m Breite bei 1.5 m Gesammthöhe und 1.37 m Höhe bis an die Gasausströmungen; die Länge beträgt 7.5 m, das Gewicht des Einsatzes bei diesen Abmessungen 5000 kg und die Zeitdauer der Verkokung 36 Stunden.

Bei noch anderen Koksofensystemen mit wagerechter Gasführung (**Haldy's Oefen**) ist die senkrechte Zunge des Smet'schen und Büttgenbach'schen Ofens ganz weggelassen, während die wagerechte

Zunge, wie bei jenen Oefen, den Seitenkanal in eine obere und untere Hälfte theilt. Die Gase treten durch 12 Oeffnungen, welche ziemlich gleichmässig auf die ganze Ofenlänge vertheilt sind, in die obere Kanalhälfte ein, ziehen in derselben nach dem einen Ende des Ofens, treten hier in die untere Hälfte unterhalb der wagerechten Zunge, in welcher sie zurück an das entgegengesetzte Ende geführt werden, gelangen hier unter die Sohle, unter welcher sie abermals hin- und zurückziehen, um dann in einen gemeinschaftlichen unterirdisch angelegten Hauptkanal einzutreten.

Durch die erwähnte Weglassung der senkrechten Zunge ist zwar die Construction vereinfacht, die Standfestigkeit der Wände aber auch vermindert, so dass man gezwungen ist, dieselben aus dicken Steinlagen (160 mm, ca. 10 mm stärker als beim Büttgenbach'schen Ofen) herzustellen; die Breite dieser Oefen beträgt 0.8—1 m, ist also beträchtlich, und die Verkokungsdauer ist 48 Stunden. Für Herstellung dichter Koks aus mageren Steinkohlen sind derartige Oefen, welche überhaupt zu den älteren Constructionen gehören, nicht geeignet.

Eine aus jüngster Zeit stammende Form der Verkokungsöfen mit wagerechter Zugführung ist endlich der **Ofen von Wintzek** (D. R. Patent Nr. 2005). Bei diesem wird die Hauptmenge der Gase in ganz ähnlicher Weise geführt wie beim Smet'schen Ofen; die am Boden sich entwickelnden Gase aber gelangen durch Oeffnungen in der Sohle abwärts in den Sohlenkanal, um hier durch Zuführung von erwärmter Luft verbrannt zu werden. Der Ofen ist, wie alle ähnliche, zum Verkoken gasreicher Kohlen bestimmt und auf oberschlesischen Kohlen- und Eisenwerken mehrfach in Anwendung.

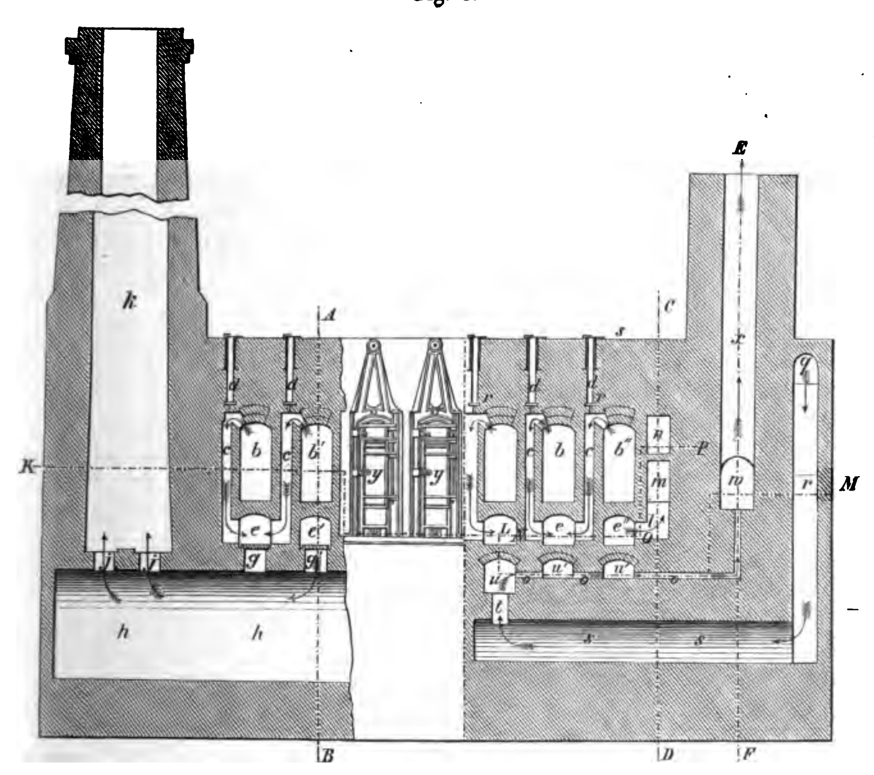
François' Verkokungsofen. Dieser Ofen bildet eine der ältesten Formen der Oefen mit senkrechten Seitenzügen. Die Gase treten durch eine grössere Zahl (12—14) seitlicher Oeffnungen in ebenso viele senkrechte Parallelkanäle, welche, nur durch schmale Seitenwände von einander getrennt, sie unmittelbar abwärts unter die Sohle führen, wo sie ein Mal vor- und rückwärts ziehen, um dann nach dem unterirdischen Essenkanale auszutreten. Die François-Oefen waren ursprünglich für gasreiche, gut backende Kohlen bestimmt und deshalb mit ca. 0.9 m Breite construirt, wobei die Verkokungszeit 48 Stunden beträgt; für weniger gut backende Kohlen hat man jedoch derartige Oefen auch mit nur 0.6 m Breite eingerichtet und die Verkokungsdauer dabei auf 24 Stunden eingeschränkt.

Coppée's Verkokungsofen. Derselbe, welcher als eine verbesserte und vorzugsweise zur Verkokung magerer Kohlen bestimmte Form des François'schen Ofens betrachtet werden kann, erlangte, nachdem er zu Anfang der sechziger Jahre zuerst ins Leben trat, besonders in den siebenziger Jahren eine sehr starke Verbreitung auf Eisen- und Kohlenwerken und bildet in der Jetztzeit in Deutschland, Frankreich und Belgien wohl den am häufigsten benutzten Verkokungsofen.

Die zu verschiedenen Zeiten gebauten Coppéeöfen lassen zwar in den Einzelheiten verschiedene Abweichungen — Verbesserungen, welche die Erfahrung ins Leben rief — erkennen; die allgemeinere Einrichtung derselben jedoch dürfte bei den meisten vorhandenen Anlagen ziemlich genau mit den in Fig. 8—10 gegebenen Abbildungen, eine Anlage auf

den Ebbw-Vale Eisenwerken darstellend, übereinstimmen.[1]) Die Gase des Ofens *b* treten an der einen Seite desselben durch eine grosse Zahl gleichmässig vertheilter Oeffnungen (28—30) in die senkrechten Kanäle *c c* und durch diese in den geräumigen Sohlenkanal *e*, vereinigen sich hier mit den Gasen des Nachbarofens *b*, gelangen, nachdem sie die Sohle des ersten Ofens erhitzt haben, unter die Sohle des zweiten und entweichen schliesslich durch die von *i* aus verschliessbare Oeffnung g_1 in den gemeinschaftlichen Kanal *h*, welcher sie durch Schlitze *j j* der gemeinschaftlichen Esse *k* zuführt. Die Oeffnung *g* in dem Kanale *e*

Fig. 8.

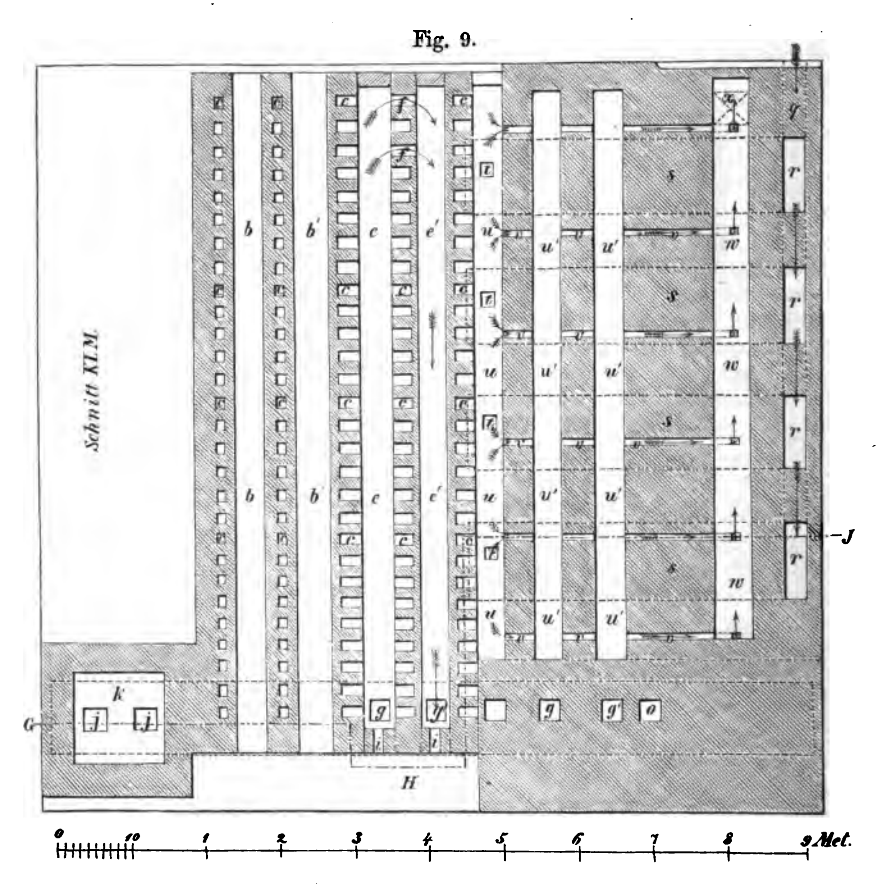


des ersten Ofens *b* ist gewöhnlich durch einen von *i* aus darüber gelegten Ziegel geschlossen und wird nur geöffnet, wenn man die Gase wegen zufälliger Störungen im Betriebe des Ofens b_1 nicht nach diesem hinüber leiten darf, wobei natürlich auch die Verbindungskanäle *f f* (Fig. 9) geschlossen werden müssen. Durch Vereinigung der Gase zweier Oefen ist also wenigstens theilweise der Uebelstand beseitigt, der auf der ungleichmässigen Gasentwickelung eines einzigen Ofens beruht und oben ausführlicher besprochen wurde.

1) Aus A. v. Kerpely, Anlage und Einrichtung der Eisenhütten, Taf. LXIII, Fig. 1—3.

Die Verbrennungsluft tritt hier nicht, wie bei den bisher besprochenen Ofensystemen, durch die Thüren in den Ofen selbst ein, sondern sie gelangt durch einzelne senkrechte, mit Regulirungsschiebern versehene Röhren *d d* zunächst in Horizontalkanäle, welche unmittelbar oberhalb der senkrechten Feuerzüge in der Längsrichtung des Ofens sich erstrecken, um hier vorgewärmt und dann durch einzelne Oeffnungen den aus den Oefen austretenden Gasen zugeführt zu werden.

Fig. 9.

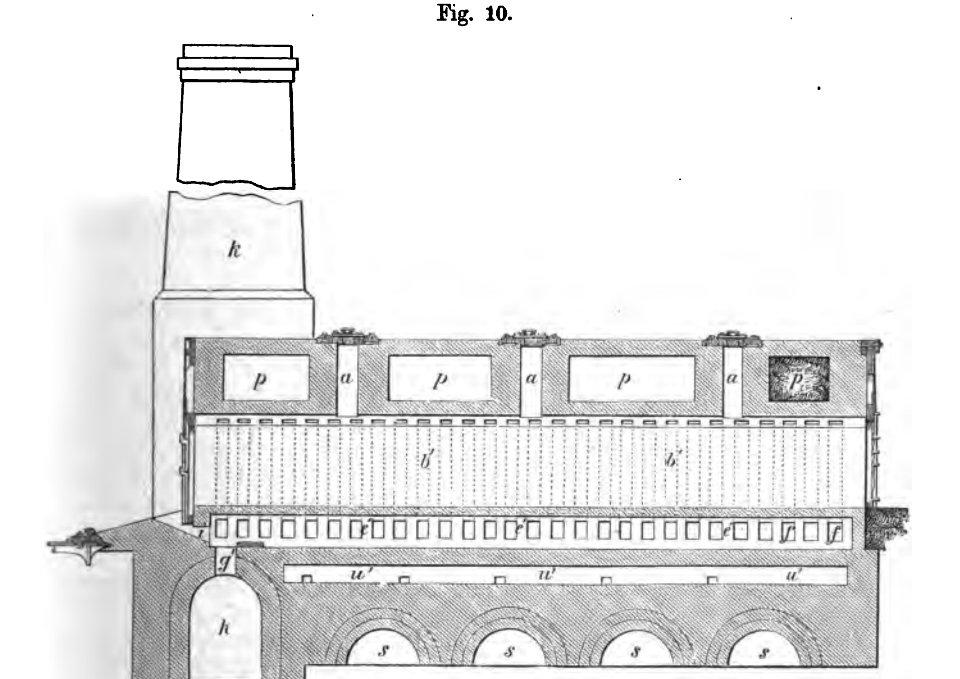


Die senkrechte Anordnung der Züge mit den dazwischen befindlichen Scheidewänden sowie eine gut durchdachte Form der zum Bau der Coppéeöfen benutzten feuerfesten Ziegel verleihen denselben eine grosse Standfestigkeit, welche es ermöglicht, die Wandstärke zwischen dem Ofeninnern und den Kanälen auf ein sehr kleines Maass (bei einzelnen Anlagen nur 110 mm) zu beschränken, ohne dass der Ofen im Mindesten Gefahr läuft, sich unter dem Drucke der sich aufblähenden Kohlen zu bauchen.

Diese geringe Wandstärke im Verein mit der Eigenthümlichkeit

der Gasführung, insbesondere der geringen Längenausdehnung der Züge und der Vereinigung der Gase unter der Sohle ermöglicht nun die Erzielung sehr hoher Temperaturen, welche, wie schon erwähnt wurde, gerade den Coppéeofen zur Verkokung magerer Kohlen geeignet machen; aber eben jene starke Sohlenheizung legt auch die Gefahr einer Beschädigung des Ofenfundaments nahe, wenn nicht besondere Vorsichtsmaassregeln hiergegen getroffen werden. Zu diesem Zwecke ist innerhalb des Fundaments ein System von Kanälen angeordnet, durch welche Luft hindurchgeleitet wird, um das Fundament zu kühlen. Durch die beiden an den Enden der Ofengruppe befindlichen Oeffnungen *q* tritt diese Luft in die senkrechten Kanäle *r* und aus diesen in die bis zur

Fig. 10.



Mitte der Oefen sich erstreckenden Horizontalkanäle *s s*, steigt von hier durch kurze Kanäle *t t* in die eigentlichen unter den Feuerzügen gelegenen Kühlkanäle, indem sie aus dem ersten dieser Kühlkanäle *u* sich allmählich nach u_1 u_1 .... vertheilt, und entweicht schliesslich aus dem Sammelkanale *w* durch die kurze Esse *x* ins Freie.

Bei dem letzten Ofen an der rechten Seite müssen, damit derselbe ausreichend erhitzt werde, die Gase auch die rechte Seitenwand bestreichen. Sie treten also, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, nachdem sie, wie bei den übrigen Oefen, die Sohlen e $e_{\prime\prime}$ erhitzt haben, durch

die Schlitze *l l* in die horizontalen Kanäle *m n* und von hier erst durch *o* in den zur Esse führenden Sammelkanal *h*.

Damit die Entleerung der Kammern besser und ohne Gefahr für eine Beschädigung der Seitenwände vor sich gehe, laufen die letzteren nicht vollständig parallel, sondern divergiren etwas nach der Richtung hin, nach welcher die Koks ausgedrückt werden. Bei dem abgebildeten Ofen beträgt die Breite jeder Kammer an dem einen Ende 430, an dem gegenüber liegenden 480 mm.

Auf den Oefen ist zur Verminderung der Wärmeabgabe eine 0.5—0.6 m starke Schicht von schlechten Wärmeleitern angebracht, die durch Ziegelmauerwerk zusammengehalten wird; zum Füllen der Kammern dienen drei Füllschächte *a* in jeder derselben, welche, wie gewöhnlich, durch Deckel verschlossen gehalten werden.

Die Thüren bestehen aus zwei Theilen. Die obere Hälfte von ca. 0.3 m Höhe wird beim Ebnen der eingeschütteten Kohlen geöffnet, die untere beim Entleeren.

Die Länge der Coppéeöfen pflegt 9 m, die Höhe 1—1.2 m, die Breite 0.4—0.5 m zu betragen und in diesem Falle beträgt die Verkokungszeit 24 Stunden; für 48stündigen Betrieb giebt man eine Breite von 0.6 m bei 1.7 m Höhe.

Die Anlagekosten per Kammer beziffern sich auf ca. 2000 Mark.

Sehr bemerkenswerthe Aenderungen gegenüber den beschriebenen und jetzt noch am häufigsten verbreiteten Coppéeöfen zeigen die neuesten von demselben Erfinder geplanten Constructionen (D. R. Patent 9908). Die Form der Kammern im Allgemeinen, die Anwendung senkrechter Züge, die Sohlenheizung, die Kühlung des Fundamentes u. s. w. ist im Wesentlichen unverändert geblieben; statt der 28—30 Austrittsöffnungen für die Gase an einer Seite des Ofens sind bei der neueren Einrichtung 18 Oeffnungen an jeder der beiden Seiten (in Summa also 36 Oeffnungen) angeordnet. Die Gase theilen sich mithin in zwei Hälften, welche nach beiden Seiten hin getrennt abziehen und sich beim Heraustreten sofort mit den ebenso abgeleiteten Gasen des Nachbarofens in den gemeinschaftlichen Kanälen vereinigen. Der Vortheil dieser Einrichtung springt sofort in die Augen. Indem man die benachbarten Oefen zu verschiedenen Zeiten beschickt, erreicht man vollkommener als bei dem älteren Systeme eine ununterbrochene, annähernd gleichmässige Erhitzung, denn auch der entleerte Ofen wird noch an beiden Seiten durch die ihm zuströmenden Gase seiner beiden Nachbaröfen geheizt; und durch die Vereinigung der Gase wird jener Uebelstand der ungleichmässigen Gasentwickelung eines einzigen Ofens erheblich abgemindert.

Die aus den Oefen austretenden Gase aber — und hierin beruht zweifellos eine andere wesentliche Verbesserung — gelangen nicht unmittelbar in die senkrechten Feuerzüge, sondern zunächst in einen geräumigen Horizontalkanal, oberhalb der letzteren in der Längenrichtung der Oefen sich erstreckend, in welchem die Gase der beiden Nachbaröfen vereinigt und mit der zutretenden, im Gemäuer des Ofens wie früher erwärmten, Verbrennungsluft gemischt werden; erst von hier

ziehen sie, wie bei den früheren Oefen, durch die senkrechten Kanäle abwärts, um sich unten mit den von der andern Seite des Ofens herabkommenden Gasen zu vermengen und dann die Sohlen der beiden Nachbaröfen wie bisher zu heizen. Die Anordnung dieses Horizontalkanales bezweckt eine gleichmässigere Mischung der von beiden Seiten kommenden Gase sowohl unter sich als mit der Verbrennungsluft und befördert daher ebensowohl die Gleichmässigkeit wie die Vollständigkeit der Verbrennung.

Carvès' Verkokungsofen mit Gewinnung von Theer und Ammoniak. Derselbe bietet insofern ein besonderes Interesse dar, als er zu den ersten Oefen gehört, bei welchen jene Gewinnung der Nebenerzeugnisse bereits längere Zeit hindurch (seit 1867) mit gutem Erfolge durchgeführt wird, so dass man wohl hauptsächlich auf Grund der bei diesem Ofen erlangten günstigen Betriebsergebnisse nunmehr auch bei anderen Ofensystemen anfängt, die Gewinnung der Nebenerzeugnisse mit der Gewinnung von Koks zu verbinden.[1])

Die Carvèsöfen sind auf dem Eisenwerke Bessèges und einigen anderen französischen Eisenwerken im Betriebe (z. B. in Terrenoire eine Batterie von 100 Oefen). Fig. 11 zeigt die Einrichtung derselben. *a a* sind wie gewöhnlich Füllöffnungen im Scheitel des Ofengewölbes. Die Gase treten durch das Rohr *b* aus dem Ofen, welches zur Regulirung oder zur Absperrung mit einem, beim Niederlassen in Theer eintauchenden und somit vollständig luftdicht abschliessenden Ventile *c* versehen ist. Von hier gelangen die Gase von 30—50 Oefen gemeinschaftlich in ein System auf- und abziehender Röhren, welche durch kaltes, dagegen gespritztes Wasser kühl erhalten werden (Kühlschlange) und in welchen also Theer und Ammoniakwasser condensirt werden. Mit den unteren offenen Enden tauchen die Röhren in einen gemeinschaftlichen Sammelraum für die Condensationsproducte; die Einrichtung ist also im Wesentlichen die nämliche, wie man sie bei vielen Gasanstalten zur Anwendung bringt. Die aus dem Condensator kommenden Gase werden nunmehr, ebenfalls wie in Gasanstalten, durch geräumige Behälter (Scrubber) geführt, die mit feucht erhaltenen Koks gefüllt sind, und in welchen ihnen die letzten Reste von Ammoniak entzogen werden. Von hier strömen sie zurück zu den Oefen, um diese zu heizen. Sie treten bei *d* durch horizontale Mundstücke in den Sohlenkanal des Ofens oberhalb eines Rostes, welcher mit glühenden Koksabfällen bedeckt gehalten wird, um die Verbrennung zu unterhalten; die Verbrennungsluft strömt von unten her durch die Rostspalten zu. Unter der Sohle des Ofens streichen die verbrennenden Gase ein Mal vor- und rückwärts, steigen dann zwischen zwei Nachbaröfen empor, um von hier in horizontalen punktirt gezeichneten Kanälen, wie die Richtung der Pfeile andeutet, allmählich abwärts und zum gemeinschaftlichen Sammelkanale *e* geführt zu werden.

---

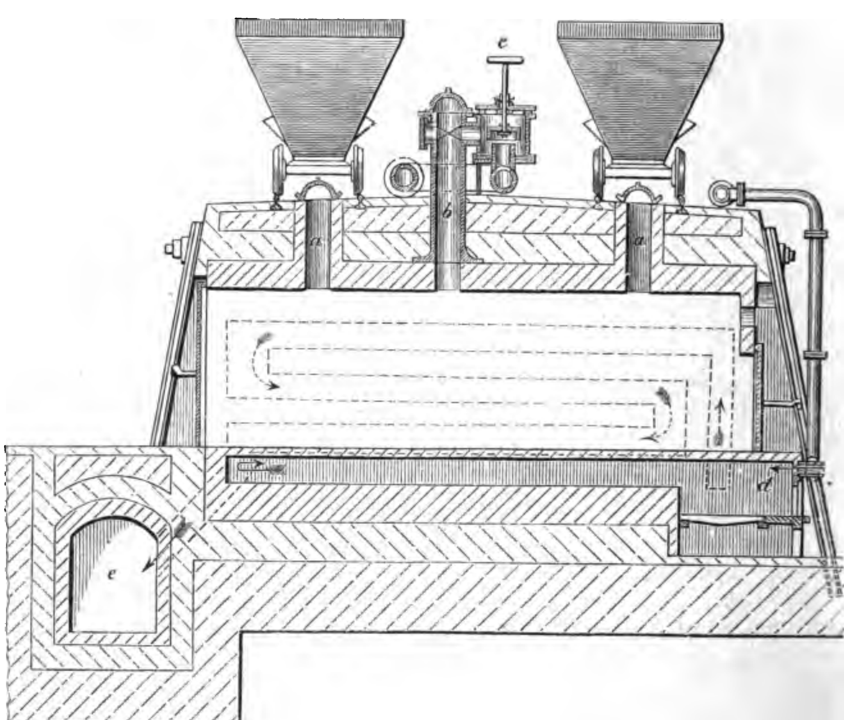
1) In Deutschland sind augenblicklich mehrere derartige Anlagen im Bau begriffen oder schon vollendet; so auf Zeche Holland nach Entwürfen von Dr. Otto & Co. in Dahlhausen; auf Zeche Hannibal bei Bochum nach Entwürfen von F. Lürmann in Osnabrück.

Es ist leicht ersichtlich, dass die Haupteigenthümlichkeiten des Carvèsofens, die Gasentziehung in der beschriebenen Weise, sich leicht mit jeder andern Zugführung verbinden lässt.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass die Bewegung der Gase in den Rohrleitungen regelmässiger vor sich geht, überhaupt der Betrieb günstiger verläuft, wenn man in die Rohrleitung einen Exhaustor einschaltet, wie es auch in Gasfabriken üblich ist, als wenn man sich auf den Essenzug allein verlässt.

Die Oefen sind 0.6—0.75 m breit und 1.70—2 m hoch. Eine grössere Breite hat sich nicht bewährt. Die Verkokungszeit bei 0.75 m breiten Oefen beträgt 60—72 Stunden. Das Ausbringen ist günstig (bis 75 Proc.),

Fig. 11.



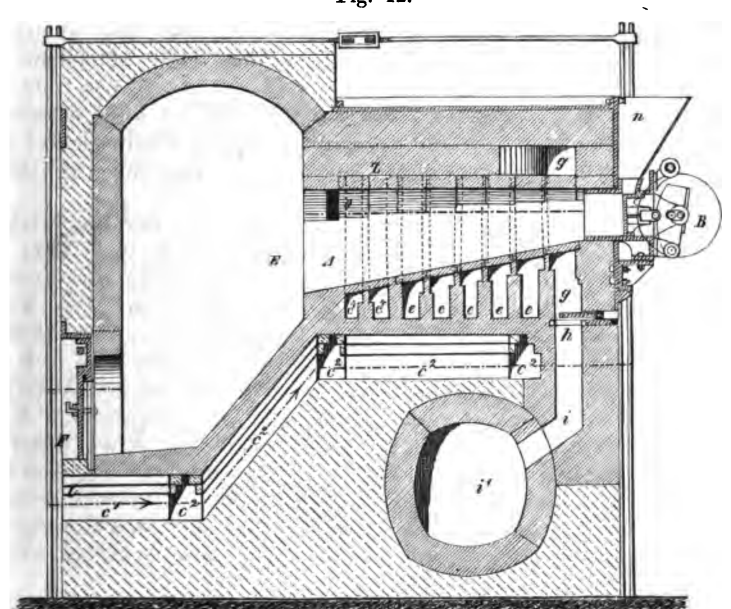
die Koks besitzen angestellten Festigkeitsversuchen zufolge eine ausreichende, sogar theilweise beträchtliche Widerstandsfähigkeit gegen Zerdrücken und werden mit gutem Erfolge beim Eisenhochofenbetriebe benutzt. Auf den Bessèges-Werken betrug im Jahre 1879 die Menge der in 96 solcher Oefen gewonnenen Koks 33 092 Tonnen, die Menge des gewonnenen Theers 1099 Tonnen, des Ammoniakwassers 4399 Tonnen. Der Verbrauch an Koksabfällen auf dem Roste betrug per Tonne dargestellter Koks 15.9 kg.

Lürmann's Verkokungsofen mit mechanischer Beschickung und ununterbrochenem Betriebe. Bei den gewöhnlichen, bisher

besprochenen Verkokungsöfen findet, wie aus der gegebenen Beschreibung sich ergiebt, der Betrieb intermittirend statt; d. h. der Ofen wird gefüllt, dann beginnt die Verkokung, und schliesslich wird der Ofen entleert, um aufs Neue beschickt zu werden. Die mit einem solchen Betriebe verknüpften Uebelstände wurden bereits mehrfach erwähnt; sie beruhen zum Theil auf der Ungleichmässigkeit in der Gasentwickelung in den verschiedenen Verkokungsstadien, zum Theil auf der starken Abkühlung, welche der Ofen durch das plötzliche Einfüllen einer grossen Kohlenmenge erleidet.

Jene Uebelstände werden offenbar vermieden, wenn, wie bei dem in Fig. 12 abgebildeten Ofen von Fritz Lürmann in Osnabrück, der Betrieb ununterbrochen stattfindet, d. h. stetig kleine Mengen Kohle

Fig. 12.



eingeschüttet werden, während die gebildeten Koks an einer andern Stelle des Ofens von Zeit zu Zeit herausgeholt werden. *A* ist die Verkokungskammer mit geneigter Sohle, aus ganz dünnen feuerfesten Steinen hergestellt. Auf dem Scheitel der Kammer ist in der Längsrichtung derselben eine gemauerte Zunge *z* angeordnet, an deren beiden Seiten sich horizontale Kanäle befinden. Die Destillationsgase treten durch den in der Decke der Kammer in der Nähe der nach innen gekehrten Oeffnung derselben angebrachten Spalt *o*[1]) in den an der linken Seite jener Zunge (von *B* aus gesehen) befindlichen Kanal und werden hier durch zugeführte atmosphärische Luft verbrannt, welche durch die

1) Der Spalt *o* ist hier, um seine Lage zu bezeichnen, eingezeichnet, obgleich derselbe, an der linken Seite der Kammer (von *B* aus gesehen) sich befindend, in der Schnittzeichnung eigentlich nicht sichtbar ist.

Kanäle c_1 c_2 c_4 zuströmt und innerhalb des Ofengemäuers bereits auf eine hohe Temperatur vorgewärmt worden war. Die Verbrennungsgase vertheilen sich nun in eine Anzahl senkrechter, abwärts ziehender Kanäle, deren Fortsetzung durch die unter der Sohle der Kammer liegenden Horizontalkanäle *e e* ... gebildet ist, um dann an der andern Seite der Kammer in eben solchen Kanälen emporzusteigen und sich in der an der rechten Seite der Zunge *z* befindlichen Kammer wieder zu vereinigen. Von hier aus gelangen sie durch den Kanal *g i*, dessen Durchgangsöffnung mit Hilfe des wassergekühlten Schiebers *h* regulirbar ist, in den für sämmtliche Kammern gemeinschaftlichen Essenkanal i_1.

Durch die beschriebene Anordnung der Züge, welche die ganze Kammer umziehen und nur die schmalen Zwischenwände zwischen sich lassen, wird die Heizfläche eine sehr grosse und beziffert sich auf 80 Proc. der gesammten Oberfläche der Kammer.

Die fertigen Koks fallen in den Raum *E*, um hier abzukühlen und dann durch die mit luftdicht schliessender Thür versehene Oeffnung *F* entfernt zu werden. Der Raum *E* ist rings von den Luftkanälen c_1 c_2 u. s. w. umgeben, um auf diese Weise kühl erhalten zu werden, während die durch die erwähnten Kanäle hindurchstreichende Luft, welche, wie schon erwähnt, zur Verbrennung der Destillationsgase bestimmt ist, erhitzt wird.

Um jene für den ununterbrochenen Betrieb in der beschriebenen Weise erforderliche langsame Fortbewegung der Kohle nach dem Füllraume *E* hin zu bewirken, ist jedoch eine mechanische Beschickungsvorrichtung erforderlich, welche bei *B* angeordnet ist. Die Kohlen, welche den Fülltrichter *n* anfüllen, fallen durch die untere Oeffnung desselben in den Ofen und werden nun entweder durch eine sich stetig in derselben Richtung drehende Schraube oder, wie in der Abbildung, durch einen abwechselnd vor- und rückwärts sich bewegenden Kolben vorwärts geschoben, während am andern Ende die Koks unter dem Drucke der Kohlenschicht in den Raum *E* hineinstürzen. Die Bewegung jenes Mechanismus kann von Hand oder von einer Transmissionswelle aus bewirkt werden; der durch denselben auf die Beschickung ausgeübte Druck ist in jedem Falle beträchtlich und beziffert sich auf mindestens 3750 kg.

Wenn jene, durch die reichliche Heizfläche bewirkte starke Erhitzung der Retorten die Verkokung sehr magerer Kohlen ermöglicht, welche an und für sich schon dichte Koks zu liefern befähigt sind, so wird durch den ausgeübten mechanischen Druck während des Verkokens ihre Dichtigkeit noch in fernerem Grade erhöht.

Der nämliche Ofen lässt sich auch mit einer Einrichtung zur Gewinnung von Theer, Ammoniak u. s. w. verbinden. In diesem Falle werden die Gase statt durch den Schlitz *o* durch ein im Scheitel oder in der Seitenwand des Entleerungsraumes *E* angebrachtes Rohr nach dem Hauptsammelrohre für sämmtliche Kammern und in diesem, wie bei den Carvèsöfen, nach dem Condensator geleitet, um von hier nach dem Ofen zur Heizung desselben zurückgeführt zu werden. Eine Wiederentzündung der Gase durch irgend eine Feuerung, wie bei den Carvèsöfen, ist bei den Oefen mit ununterbrochenem Betriebe entbehrlich, da bei der ununterbrochenen Verbrennung der Gase und der Vermeidung

einer Abkühlung des Ofens durch plötzliches Entleeren und Wiederfüllen alle Theile ohnehin so stark erhitzt sind, dass ein Erlöschen der Gase nicht eintritt.

Für den Betrieb der Verkokungsöfen ist, wie sich schon aus dem bisher Gesagten ergiebt, eine Anzahl von **Hilfsapparaten** nothwendig, theils zum Füllen, theils zum Entleeren derselben bestimmt.

Zum Herbeifahren der zu verkokenden Steinkohlen und Einfüllen in den Ofen pflegt man, wie es z. B. in Fig. 11, S. 77 und Fig. 4, S. 64 angedeutet ist, vierseitig trichterförmige Wagen zu benutzen, deren Boden aus einem horizontalen Schieber besteht. Ist der Wagen über der geöffneten Füllöffnung angelangt, so wird der Schieber geöffnet, und die Kohlen stürzen in den Ofen hinein. Mit langen Krücken wird dann die Kohlenschicht geebnet.

Die Entleerung der Kammern erfolgt bei senkrechter Achse derselben (Appolt's Ofen) durch das eigene Gewicht der Koks, wobei diese in einen bereit stehenden Wagen hineinstürzen, nachdem die Bodenklappe geöffnet wurde; bei dem Lürmann'schen Ofen mit ununterbrochenem Betriebe durch Auskrücken der Koks aus dem beschriebenen Sammelraume; bei fast allen übrigen Oefen mit wagerechter Achse dagegen durch eine Koksausdrückmaschine, wie schon erwähnt wurde.

Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einem gusseisernen Schilde an dem den Oefen zugekehrten Ende einer langen horizontalen, den Ofenachsen parallelen Zahnstange, welche durch Kurbel und Getriebe mit mehrfachen Uebersetzungen vorwärts in die geöffnete Kammer hinein bewegt wird, solcherart das Koksprisma vor sich her und aus dem entgegengesetzten Ende des Ofens hinaus schiebend. Der ganze Mechanismus ist auf einem eisernen, auf Schienen laufenden Wagen angeordnet, so dass er bequem von einem Ofen zum andern bewegt und nach der Reihe zur Bedienung sämmtlicher Kammern benutzt werden kann.

Der Betrieb dieser Maschine erfolgt entweder von Hand durch mehrere an der Kurbel stehende Arbeiter oder häufiger durch eine eigene Dampfmaschine, welche in diesem Falle nebst dem zugehörigen Dampfkessel auf dem Wagen selbst angeordnet ist und bei einer Leistungsfähigkeit von 10—15 Pferdestärken die Arbeit in weit kürzerer Zeit verrichtet (ca. 2 Minuten für Hin- und Rückgang), als es durch Menschenarbeit möglich ist. Gewöhnlich wird in diesem Falle durch die Dampfmaschine auch die Fortbewegung des Wagens bewirkt; und endlich hat man bei Oefen mit senkrecht aufgehenden Schiebethüren dieselbe auch bisweilen benutzt, um durch Vermittelung eines auf den Wagen gestellten Krahnes die Thür aufzuziehen.

Da die Schienen, auf denen der Wagen läuft, den ganzen Druck des Koksprisma auszuhalten haben, so müssen sie in solider Weise befestigt sein, und man pflegt den Wagen mit drei Räderpaaren, auf drei parallelen Schienensträngen laufend, zu versehen; und damit der Wagen auch bei der äussersten Stellung des Schildes nicht sein Gleichgewicht verliere, muss er ausreichend breit sein. Die Stange, an welcher das Schild befestigt ist, gleitet auf Rollen, die im Wagen gelagert sind,

und trägt an der nach oben gerichteten Seite die Zähne, in welche das betreffende Getriebe eingreift.

Für die Aufstellung und Bewegung der Koksausdrückmaschine muss natürlich ein entsprechend breiter Raum an derjenigen Seite der Koksofenbatterie (Rückseite) frei gehalten werden, von welcher aus das Ausdrücken erfolgen soll; und an der gegenüberliegenden Vorderseite muss eine, von den Oefen her um einige Grade abfallende Ebene von mindestens 12 m Breite zur Aufnahme der herauskommenden Koks eingerichtet werden, welche mit guten, harten Ziegeln in Rollschichten gepflastert oder mit Eisenplatten belegt wird. Zum Ablöschen der glühenden Koks, damit sie nicht an der Luft verbrennen, werden auf dieser Ebene den Oefen gegenüber mehrere Hochdruckwasserständer mit Schlauchhähnen aufgestellt.

Den Transport der Koks schliesslich bewirkt man, wo es angeht, durch Verladen in Wagen, welche auf einer so tief gelegenen Ebene auf Schienen laufen, dass ihre Oberkante in gleichem Höhenstande mit der Vorderkante der soeben besprochenen Koksrampe sich befindet und die Koks durch Krücken ohne Weiteres in die Wagen hinübergeschoben werden können.

Es folgt aus dieser Anordnung, dass jede derartige Koksofenanlage aus drei Terrassen besteht: zu oberst die Scheitelebene (Gichtebene) mit den Schienengleisen für die Kohlenwagen, welche von der Kohlenwäsche oder dem Abladeplatze auf wagerechter oder schwach geneigter Ebene hierher gerollt werden; dann die Koksrampe in der Ebene der Ofensohlen; zu unterst die Ebene für die Abfuhr mit den Schienengleisen für die Transportwagen.

Bei den Appolt'schen Oefen beschränkt sich die Anlage auf zwei Terrassen, die aber in erheblich grösserem Abstande als bei den wagerechten Oefen auseinander liegen.

Die **Betriebsergebnisse** der einzelnen Koksofensysteme wurden theilweise schon bei der Besprechung der letzteren mitgetheilt. Es handelt sich hierbei vornehmlich um das Ausbringen an Koks und um die Zeitdauer der Verkokung. Ersteres wird bei denjenigen Oefen, bei welchen der Luft der Zutritt in das Ofeninnere vollständig abgeschnitten ist, also bei den Oefen von Appolt, Coppée, Lürmann, Carvès u. a. durchschnittlich höher sein, als bei den älteren Oefen, bei denen man aus angeführten Gründen der Luft schon durch Oeffnungen in der Ofenthür Zutritt in das Innere verstattet; aber das Ausbringen ist auch, wie leicht begreiflich, gar sehr abhängig von der chemischen Zusammensetzung, d. h. dem Gasgehalte der Kohle und ihrem Aschengehalte. Aus diesem Grunde ist ein Vergleich des Ausbringens verschiedener Ofensysteme nur dann zuverlässig, wenn auch ganz die nämlichen Kohlen in denselben verkokt wurden. Im Ganzen schwankt das Ausbringen gemäss dieser Verschiedenheiten zwischen 65—80 Proc.

Die Zeitdauer der Verkokung richtet sich, wie natürlich, von der Temperatur des Ofeninnern, also von der Grösse der feuerberührten Fläche und der Breite des Ofenquerschnittes, und schwankt zwischen 24—60 Stunden. Der breitere Ofen erfordert die längere Zeit, fasst dafür aber auch die grössere Menge Kohlen, so dass hierdurch wenigstens

theilweise jener Zeitverlust ausgeglichen wird. Dass die Beschaffenheit der Kohlen selbst für die anzuwendende Verkokungstemperatur und Verkokungszeit entscheidend sein muss, wurde bereits erwähnt.

Die Güte der erfolgenden Koks endlich hängt von dem Koksofensysteme insofern ab, als gleichmässig erhitzte Oefen auch gleichmässigere Koks als ungleichmässiger erhitzte liefern werden, ein Grund, weshalb schmalere Oefen in dieser Beziehung sich durchschnittlich günstiger als breitere verhalten; und als ferner Oefen, in denen die Koks einem höheren Drucke ausgesetzt sind, vorzugsweise zur Darstellung dichter Koks auch aus gasreicheren Steinkohlen sich eignen (Appolt'scher Ofen, Lürmann's Ofen mit mechanischer Beschickung). Dass übrigens nicht in allen Fällen Dichtigkeit und Güte der Koks gleichbedeutend sind, dass vielmehr die Verwendung derselben hierbei mitzusprechen hat, wurde schon oben erläutert.

Die abziehenden Gase der Verkokungsöfen lassen sich vielfach, wenn sie durch einen gemeinschaftlichen Hauptcanal abgeführt werden, noch zu anderen Zwecken, insbesondere zum Heizen von Dampfkesseln, benutzen (Coppéeöfen u. a.). Eine Anordnung der Kessel auf den Oefen, wie man früher wohl sie baute, ist jedenfalls unzweckmässig; besser ist es und jetzt allgemeine Regel, sie zwischen Verkokungsöfen und Esse einzuschalten.

Eigenschaften der Koks.

Die Koks besitzen, wie alle verkohlten Brennstoffe, die Eigenschaft, ohne Flamme und ohne Rauch zu verbrennen, wodurch sie schon von vorn herein für viele Processe geeigneter sind als die zu ihrer Darstellung benutzten Steinkohlen. Es kommt hinzu, dass die backende Eigenschaft der meisten für die Verkokung dienenden Steinkohlen ebenfalls in nicht seltenen Fällen ihre Verwendung im rohen Zustande (z. B. in Schachtöfen) erschwert, während gerade die nämliche Eigenschaft es ermöglicht, aus diesen Kohlen nach vorausgegangener Zerkleinerung und Reinigung noch vortreffliche Koks zu gewinnen. Diese Möglichkeit der Aufbereitung vor der Verkokung giebt eine ausreichende Veranlassung zur Verkokung selbst solcher Steinkohlen, welche in ihrer Zusammensetzung den Anthraciten nahe stehen, nur schwierig backen, und auch an und für sich ohne erhebliche Flammenbildung brennen würden.

Aber noch ein anderer wichtiger Umstand kommt hinzu, die Anwendung verkokter Kohlen zweckmässiger als diejenige roher erscheinen zu lassen. Es ist die Thatsache, dass von dem Schwefelgehalte der Kohlen, welcher in manchen Fällen sehr nachtheilige Einwirkungen ausüben würde, ein grosser Theil durch die Verkokung entfernt wird. Die Entschwefelung der Steinkohlen bildete sogar ursprünglich — im Anfange des 17. Jahrhunderts — den hauptsächlichsten Zweck, welchen man bei der Verkokung derselben im Auge hatte.

Der Schwefelgehalt der Steinkohlen stammt zum grössten Theil aus den eingesprengten Kiesen (Markasit, Pyrit), welche vorwiegend aus Doppeltschwefeleisen ($Fe S_2$) bestehen. Es wurde schon früher erwähnt, dass es auch durch sorgfältigste Aufbereitung der Kohlen nicht möglich

sei, sie vollständig von ihren fremden Begleitern, also auch von diesen schwefelreichen Mineralien, zu befreien. Durch einfache Erhitzung aber wird alles Doppeltschwefeleisen zersetzt, ein Theil des Schwefels entweicht und es hinterbleibt eine Verbindung, deren Zusammensetzung ungefähr durch die Formel $Fe_7 S_8$ (Zusammensetzung des Magnetkieses) ausgedrückt wird. Die Gegenwart glühender Kohle, welche mit dem Schwefel flüchtige Verbindungen eingeht, befördert die Entschwefelung; und ein, wenn auch verhältnissmässig nicht bedeutender Theil wird noch als Schwefelwasserstoff beim Ablöschen der Koks mit Wasser entfernt.

Dass die Beschaffenheit der Koks, die Porosität, die Dichtigkeit, das Aussehen theils von der Beschaffenheit der Kohlen, theils von der Einrichtung der verwendeten Oefen abhänge, geht aus früher Gesagtem hervor. Von Wichtigkeit für die meisten Verwendungen der Koks ist eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen das Zerdrücken; gewöhnlich, doch nicht regelmässig, geht diese mit der Dichtigkeit Hand in Hand, und es ist dies ein besonderer Grund, weshalb man — besonders für ihre Verwendung in hohen Oefen, wo ein ansehnliches Gewicht auf den Koks lastet — dichte Koks den weniger dichten vorzieht. Nach Versuchen, welche auf den Bessèges-Eisenwerken angestellt wurden, betrug die Widerstandsfähigkeit gegen das Zerdrücken per qcm bei Kokssorten aus verschiedenen Oefen:

aus englischen Bäckeröfen (Bienenkörben)	43.9 kg
„ Carvèsöfen von 0.70 m Breite . . .	66.5 „
„ „ „ 0.66 „ „ . . .	79.7 „
„ „ „ 0.50 „ „ . . .	92.3 „
„ Coppéeöfen „ 0.50 „ „ . . .	80.5 „

Die Proben aus den Carvèsöfen von verschiedener Breite lassen eine deutliche Zunahme der Festigkeit mit Abnahme der Ofenbreite erkennen.

Infolge des Schwindens und Reissens des glühenden, aus dem Ofen kommenden, Koksprismas pflegen die Koks in basaltartig geformten Stücken aufzutreten, welche jedoch, besonders bei den Koks aus gasreicheren Kohlen, häufig mit traubenartigen Bildungen, von der Graphitablagerung bei Zersetzung von Kohlenwasserstoffen herrührend, überzogen sind. Die Farbe des kalt durchgebrochenen Koks pflegt grau mit Metallglanz zu sein, an den mit Wasser abgelöschten Stellen wird er schwarz. Aus der Farbe auf die Güte der Koks schliessen zu wollen, ist nicht thunlich.

Die chemische Zusammensetzung zeigt neben dem Kohlengehalte einen Aschengehalt, dessen Höhe mindestens 4 Proc., nicht selten über 15 Proc. zu betragen pflegt, ferner einen Wasserstoffgehalt von 0.3 bis 0.5 Proc., einen Sauerstoff- plus Stickstoffgehalt von $2—2^1/_2$ Proc. und einen hygroskopischen Wassergehalt, der auch bei poröseren Koks, welche längere Zeit an der Luft lagerten, selten erheblich über 10 Proc. hinausgeht, während frisch abgelöschte Koks allerdings grössere Mengen und in Wasser eingetauchte Koks bis zu 50 Proc. Wasser enthalten können.

Vorzugsweise wichtig für die Werthbestimmung der Koks ist natürlich ihr Aschengehalt. Koks mit mehr als 12 Proc. Asche ver-

wendet man für Schmelzprocesse nicht gern; Koks mit erheblich weniger als 10 Proc. Asche gehören schon zu den vorzüglicheren. Aber auch die chemische Zusammensetzung der Koksasche kommt hierbei in Betracht. Im Grossen und Ganzen entspricht sie natürlich der Zusammensetzung der Steinkohlenasche, und wie bei dieser findet man als vorwiegende Bestandtheile Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd, bisweilen Kalkerde; aber auch der Schwefelgehalt fehlt trotz der bei der Verkokung stattfindenden Entschweflung niemals ganz und ein Schwefelgehalt = 2 Proc. des Koksgewichtes oder noch darüber gehört keineswegs zu den Seltenheiten.

Als Wärmeleistung der Koks (nach Abrechnung des Aschengewichtes) pflegt man 8000 W.-E. per kg anzunehmen.

Das Gewicht eines Cubikmeters stückförmiger Koks beträgt, abweichend nach dem Aschengehalte, der Dichtigkeit und der Stückgrösse, 350—450 kg.

8. Die Gase.

Allgemeines.

Die Anwendung brennbarer Gase zur Heizung metallurgischer Oefen ist eine Erfindung des 19. Jahrhunderts. Zwar versuchte schon im Jahre 1792 ein Schotte Alexander Christie auf der Devon-Eisenhütte zu Schottland, die aus dem Eisenhochofen entweichenden und mit langer Flamme verbrennenden Gase nutzbar zu machen; doch ohne Erfolg.[1]) 1811 nahm in Frankreich ein Eisenwerksbesitzer Aubertot ein Patent auf die Benutzung der Hochofengichtgase als Brennstoff für andere Zwecke; ihm folgte im Jahre 1832 ein Engländer Teague mit einem englischen Patent für das im Wesentlichen nämliche Verfahren. Eine erhöhte Bedeutung jedoch erlangte die Gasfeuerung erst durch die Bemühungen des würtembergischen Bergrathes Faber du Faur in Wasseralfingen in den dreissiger und vierziger Jahren, welcher nicht allein Gichtgase sondern auch künstlich erzeugte brennbare Gase zum Heizen verschiedener Oefen benutzte. Gegen Ende der vierziger Jahre waren bereits in mehreren Gegenden Gasfeuerungen in Anwendung; seitdem breitete sich die neue Feuerungsmethode von Jahr zu Jahr weiter aus, und in der Jetztzeit bilden die brennbaren Gase im Hüttenwesen einen ebenbürtigen Brennstoff neben den verkohlten, einen bevorzugten neben den rohen unverkohlten Brennstoffen.

Gegenüber der Anwendung dieser letzteren, an deren Stelle die gasförmigen Brennstoffe vorzugsweise benutzt zu werden pflegen, besitzt die Heizung mit Gasen mancherlei Vortheile. Da eine innige Mischung mit atmosphärischer Luft leichter als bei der Verbrennung fester Brennstoffe auf dem Roste (der sogenannten directen Feuerung) zu erzielen ist, so genügt ein geringerer Ueberschuss der Luft, eine vollständige Verbrennung herbeizuführen. Die Folge davon ist eine höhere Verbrennungstemperatur und eine günstigere Ausnutzung der erzeugten Wärme. Eine fernere Steigerung der Verbrennungstemperatur lässt

1) A. Gurlt, die Bergbau- und Hüttenkunde. Essen 1879. Zweite Aufl., S. 121.

sich erzielen, wenn man den den Gasen beigemengten Wasserdampf (z. B. bei Gasen, die aus wasserhaltigen Brennstoffen, Holz, Torf, Braunkohlen erzeugt waren) durch Verdichtung entfernt, ehe sie an den Verbrennungsort gelangen, und theils aus diesem Grunde, theils wegen der Möglichkeit, auch feinkörnige, für Rostfeuerung weniger geeignete Brennstoffe zu vergasen, erhält man durch Anwendung der Gasfeuerung ein geeignetes Mittel, selbst geringwerthige Brennstoffe mit Vortheil zu verwenden.

Der Ursprung der Gase kann ein verschiedener sein.

Mitunter entweichen brennbare Gase als Nebenerzeugniss eines zu einem andern Zwecke angestellten Processes und lassen sich dann weiter verwenden. Dieser Fall tritt in besonderer Wichtigkeit beim Eisenhochofenprocesse zu Tage, wo die Gichtgase des Hochofens einen werthvollen Brennstoff für Heizung anderer Apparate bilden. Erwähnt wurde bereits, dass gerade diese Gichtgase den ersten Anstoss zur Einführung der Gasfeuerung überhaupt gegeben haben. Von der Zusammensetzung, Entziehung und Fortleitung derselben wird in der zweiten Abtheilung bei Besprechung der Roheisendarstellung im Hochofen die Rede sein.

Zweitens benutzt man, freilich nur in einer einzigen Gegend der Erde, für die Eisenindustrie brennbare Gase, welche in der Natur vorkommen. Es sind dieses die Petroleumgase Pennsylvaniens, welche theilweise an Ort und Stelle zum Heizen von Dampfkesseln benutzt werden, theilweise sogar ungenutzt entweichen, während ein anderer Theil derselben nach Wedding's Berichte über das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten durch eine 22 km lange Röhrenleitung nach Pittsburg geführt wird, um dort zum Betriebe von Puddel- und Schweissöfen zu dienen. Das Gas enthält 90 Proc. leichten Kohlenwasserstoff, ca. 4 Proc. schweren Kohlenwasserstoff, 4 Proc. Wasserstoff, übrigens Kohlensäure u. s. w. und bildet deshalb einen werthvollen Brennstoff mit hoher Verbrennungstemperatur.

Drittens lassen sich brennbare Gase aus festen Brennstoffen darstellen; und dieses Verfahren bildet in der Jetztzeit das am häufigsten für die Gasfeuerung angewendete. Diese Vergasung fester Brennstoffe lässt sich wiederum in zweierlei Weise oder, richtiger gesagt, unter Anwendung zweier verschiedener Oxydationsmittel durchführen. In dem einen dieser Fälle dient Sauerstoff der atmosphärischen Luft dazu, den Kohlenstoff des Brennstoffes zu Kohlenoxyd zu verbrennen (sogenannte unvollständige Verbrennung), während — bei Anwendung unverkohlter Brennstoffe — die bei jener Verbrennung entwickelte Wärme zugleich die Zersetzung des Brennstoffes, d. h. die Austreibung der flüchtigen und theilweise brennbaren Bestandtheile bewirkt, so dass diese sich mit dem gebildeten Kohlenoxydgas mischen. Der hierzu erforderliche Apparat wird **Generator** genannt; von der gewöhnlichen Verbrennung fester Brennstoffe auf dem Roste (der directen Feuerung) unterscheidet sich diese Generator-Gasfeuerung demnach im Wesentlichen dadurch, dass bei jener die zur vollständigen Verbrennung erforderliche Verbrennungsluft bereits durch die Rostspalten hindurch ihren Weg nimmt (dass trotzdem die eigentliche Verbrennung oft erst weit von dem Roste ihr Ende erreicht, beweist die mehr oder minder lange, vom

Roste aufsteigende Flamme), während bei letzterer, der Gasfeuerung, nur soviel Luft zu dem festen Brennstoffe geführt wird, als zur Umwandlung desselben in gasförmiges Kohlenoxyd nothwendig ist, und die Verbrennung dieses Kohlenoxydes nebst den etwa entwickelten brennbaren Zersetzungserzeugnissen erst durch später zugeführte Luft, unter Umständen nach bewirkter Fortleitung des Gases an irgend eine von dem Generator entlegene Stelle, bewirkt wird.

In dem zweiten erwähnten Falle der Gaserzeugung dient hocherhitzter Wasserdampf als Mittel zur Vergasung des festen Brennstoffes. Derselbe zerlegt sich in Berührung mit glühender Kohle und bildet Wasserstoff einerseits und Kohlenoxyd andererseits, also ein Gemisch brennbarer Gase, welches **Wassergas** genannt wird.

Diese beiden aus festen Brennstoffen gewonnenen Gasarten und ihre Darstellung sollen in Folgendem ausführlicher besprochen werden.

Gewöhnliches Generatorgas (Luftgas) und seine Darstellung.

Alle zur Darstellung von Heizgas benutzten Generatoren haben die Form eines Schachtes, in welchem die zur Vergasung bestimmte Luft den in Stücken aufgehäuften Brennstoff durchdringt. Die Schüttung des letzteren muss dabei so hoch sein, dass nicht freier, unverzehrter Sauerstoff durch die Stücke desselben hindurch seinen Weg finde, das gebildete Gas im Generator selbst verbrennend. Die Zuführung der Luft geschieht meistens durch Essenzug, seltener durch ein Gebläse; in dem ersteren Falle dient ein Rost dazu, der Luft den Eintritt in den Generator zu ermöglichen.

Der Vorgang der Vergasung ist ziemlich einfach, wenn verkohlte Brennstoffe, die also vorwiegend aus Kohlenstoff bestehen, als Material dafür benutzt werden. Der Sauerstoff der eintretenden Luft bildet in Berührung mit dem glühenden Brennstoffe, je nachdem die Temperatur höher oder weniger hoch ist, der Brennstoff eine grössere oder geringere Oberfläche darbietet, zunächst Kohlenoxyd oder Kohlensäure. Unmittelbar über dem Roste wird stets, wenn man Luft von gewöhnlicher Temperatur zutreten lässt, wegen der dadurch unausgesetzt hervorgerufenen Abkühlung eine gewisse Menge Kohlensäure entstehen, um so mehr, je dichter der Brennstoff ist, d. h. je weniger Oberfläche er darbietet. Durch diese Verbrennung wird Wärme entwickelt, welche von den aufsteigenden Gasen aufgenommen und nach oben, den, gemäss der unten stattfindenden Verbrennung niederrückenden, Brennstoffen entgegen geführt wird. Diese werden dadurch erwärmt und allmählich zum Glühen erhitzt; die aufsteigende Kohlensäure in Berührung mit den glühenden Kohlen vergast ein zweites Atom Kohle und wandelt sich dabei in Kohlenoxyd um ($CO_2 + C = 2CO$). Zu dieser Umwandlung aber wird Wärme verbraucht und zwar wie aus den auf S. 20 gegebenen Ziffern hervorgeht, per kg Kohle, welches durch die Kohlensäure verbrannt (vergast) wird, 3134 W.-E. Es tritt also wieder Abkühlung ein, welche die Reduction der aufsteigenden Kohlensäure hindern kann; und unter diesen entgegengesetzten Einwirkungen bildet sich dann ein Gleichgewichtszustand für das Verhältniss zwischen dem entstehenden Kohlenoxydgase und der unver-

ändert durch die Brennstoffschicht hindurchgehenden Kohlensäure aus, welcher so lange unverändert bleibt, als nicht durch äussere Einwirkungen die Temperatur im Generator geändert wird. Je höher die Brennstoffschüttung im Generator ist, desto länger bleiben die niederrückenden Kohlen dem aufsteigenden Gasstrome ausgesetzt, desto stärker werden sie von diesem erhitzt, desto vollständiger wird die anfänglich entstandene Kohlensäure zu Kohlenoxyd reducirt werden.

Verwendet man jedoch rohe Brennstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Torf, Holz) als Material zur Gaserzeugung, so gesellt sich zu diesem soeben geschilderten Vorgange ein zweiter: die Zerlegung der rohen Brennstoffe unter dem Einflusse der im unteren Theile des Generators entwickelten Wärme in entweichende flüchtige Erzeugnisse und zurückbleibende Kohle, welche nun, wie im ersten Falle, den Gasen entgegen rückt und unten verbrannt wird. Man hat diese durch einfache Erhitzung bewirkte Zersetzung passend mit Entgasung, jene durch sogenannte unvollständige Verbrennung bewirkte Gaserzeugung mit Vergasung des Brennstoffes bezeichnet.

Der Vorgang bei der Verwendung roher Brennstoffe zur Gasdarstellung im Generator ist also kurz folgender: die dem warmen Gasstrome entgegen rückenden Brennstoffe werden allmählich erwärmt, geben zunächst Wasser ab, dessen Menge natürlich von der chemischen Zusammensetzung abhängig ist, und welches sich in Dampfform mit den übrigen Gasen mischt, dann beginnt bei stärkerer Erhitzung die Entgasung, schliesslich, wenn diese beendigt ist, die Vergasung durch schon gebildete Kohlensäure, beziehentlich durch freien Sauerstoff, wie oben beschrieben wurde.

Bei der Entgasung aber wird durch die stattfindende Verflüchtigung von vorher festen Körpern eine gewisse Menge Wärme verbraucht; und dieser Wärmeverbrauch wirkt natürlich abkühlend auf den Generator. Dadurch werden wiederum die Vorgänge im unteren Theile desselben mehr oder minder beeinflusst, die Kohlensäurebildung wird befördert, die Kohlenoxydbildung erschwert. Auch in diesem Falle wird zwar eine hohe Brennstoffschüttung, da sie die Temperatur im unteren Theile des Generators erhöht, die Reduction der Kohlensäure befördern. Zu diesem Vortheile der hohen Schüttung gesellt sich jedoch hier ein Uebelstand. Je höher dieselbe ist, desto niedriger wird die Temperatur im oberen Theile des Generators sein, desto langsamer wird hier die Zersetzung der frisch aufgeschütteten Brennstoffe vor sich gehen. Die Erfahrung lehrt aber, dass bei dieser Zersetzung um so grössere Mengen theeriger, für die Verwendung des Gases nachtheiliger Bildungen entstehen, in je niedrigerer Temperatur sie vor sich ging.

Aus dieser Schilderung der Vorgänge im Generator ergiebt sich zunächst, dass alle Generatorgase eine ziemlich beträchtliche Menge Stickstoff enthalten werden, da der Sauerstoffgehalt der Luft, welcher zur Gasbildung nothwendig ist, nicht ohne den dazu gehörigen Stickstoffgehalt in den Generator und das Gasgemisch geführt werden kann. Dieser Stickstoffgehalt der Generatorgase beträgt thatsächlich 55—65 Volumprocente oder etwa 60—70 Gewichtsprocente von dem Volumen beziehentlich Gewichte des trockenen (wasserfreien) Gases. Die Schwan-

kungen erklären sich theils aus der Verschiedenheit der Menge der durch Entgasung (bei Anwendung roher Brennstoffe) in das Gasgemisch geführten Gase, theils aus dem verschiedenen Verhältnisse der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in den Gasen. Denn ein Volumen beziehentlich Gewichtstheil Sauerstoff giebt bei der Verbrennung zu Kohlensäure auch nur 1 Volumen beziehentlich 1.375 Gewichtstheile Kohlensäure, bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd dagegen 2 Volumina oder 1.75 Gewichtstheile Kohlenoxyd, führt aber natürlich in beiden Fällen die gleiche Menge Stickstoff den Gasen zu; und je mehr Gas überhaupt durch die gleiche Menge Sauerstoff gebildet war, d. h. je mehr Kohlenoxyd und je weniger Kohlensäure in den Gasen enthalten war, desto niedriger wird im Allgemeinen der durchschnittliche Gehalt an Stickstoff sein.

Es erklärt sich ferner aus den geschilderten Vorgängen, dass kaum irgend ein Generatorgas ganz frei ist von Kohlensäure. Die Menge derselben wird beträchtlicher sein bei dichten und unverkohlten Brennstoffen, bei kaltem Gange des Generators, als im umgekehrten Falle und geht mitunter über 10 Proc. hinaus. Je grösser die Menge der Kohlensäure plus Stickstoff, dieser unverbrennbaren, lediglich als Verdünnungsmittel wirkenden Gase, ist, desto werthloser wird nicht nur das Gas, sondern desto schwieriger wird auch die Verbrennung desselben und desto niedriger die Verbrennungstemperatur.

Ein anderer Bestandtheil aller Generatorgase ist Wasserstoffgas, theils aus dem Brennstoffe selbst stammend (auch verkohlte Brennstoffe enthalten, wie früher erwähnt worden ist, noch Wasserstoff), theils aus der Zersetzung des Feuchtigkeitsgehaltes der verbrauchten atmosphärischen Luft in Berührung mit glühenden Kohlen hervorgegangen.

Endlich finden sich Kohlenwasserstoffe (leichte und schwere), vorzugsweise natürlich in den aus rohen Brennstoffen bereiteten Gasen, in welchen die Menge derselben 1—6 Volumprocent zu betragen pflegt.

Als durchschnittliche Zusammensetzung der trockenen Generatorgase wird man folgende annehmen können:

		Stickstoff	Kohlensäure	Kohlenoxyd	Wasserstoff	Kohlenwasserstoff
1) aus verkohlten Brennstoffen:						
	nach Volumen	64	1	33	2	—
	nach Gewicht	64.5	1.5	33.8	0.2	—
2) aus unverkohlten Brennstoffen (Steinkohlen):	nach Volumen	64	4	24	6	2
	nach Gewicht	66.5	6.5	25	0.5	1.5.

Ausser diesen eigentlichen Bestandtheilen aber enthalten alle Generatorgase Wasserdampf, theils aus der hygroskopischen Feuchtigkeit aller Brennstoffe, theils aus der Zersetzung unverkohlter Brennstoffe herrührend; und theerige Bildungen, sofern man unverkohlte Brennstoffe verwendete. Der Wasserdampf, dessen Menge bei Anwendung wasserreicher Brennstoffe ein ganz beträchtlicher sein kann, wirkt, wie der Stickstoff- und Kohlensäuregehalt, verdünnend auf die brennbaren Bestandtheile, erschwert also die Verbrennung und erniedrigt die Verbrennungstemperatur; wegen der grossen specifischen Wärme des Wasserdampfes aber wirkt die gleiche Menge desselben bedeutend ungünstiger

in dieser Beziehung als jene Gase. Durch Abkühlung des Gases vor der Verbrennung lässt sich die Menge des Wasserdampfes auf denjenigen Gehalt zurückführen, welcher dem Sättigungsgrade des Gases bei der niedrigeren Temperatur entspricht, und dadurch der Brennwerth wasserreicher Gase nicht unerheblich erhöhen.

Auch jene theerigen Bildungen erschweren die Verbrennung des Gases und, wenn sie in den Leitungen sich verdichten, können sie zu Verstopfungen derselben Veranlassung geben.

Bei der Darstellung von Generatorgas ist also das anzustrebende Ziel: möglichst reichliche Bildung von Kohlenoxydgas, möglichste Vermeidung der Entstehung von Kohlensäure, Theer, Wasser. Das wichtigste Mittel zur Erreichung dieses Zieles ist eine hohe Temperatur des Generators. Kohlenoxyd ist, wie früher erörtert, das Erzeugniss einer Verbrennung von Kohle in hoher, Kohlensäure in niedriger Temperatur; hohe Temperatur bei der Entgasung beeinträchtigt die Entstehung von Wasser und Theer, niedrige Temperatur befördert sie.

Als selbstverständlich ist hierbei vorausgesetzt, dass die Brennstoffschicht in allen Fällen eine solche Höhe besitze, um das Hindurchtreten unverzehrten Sauerstoffes unmöglich zu machen. Je heisser aber der Generator ist, desto leichter wird auch dieser Bedingung genügt, desto rascher wird — bei derselben Geschwindigkeit der Luft — der eintretende Sauerstoff verschwinden. Als lehrreiches Beispiel für den Einfluss der Temperatur auf die Zusammensetzung der Generatorgase mögen folgende zwei von Stöckmann[1]) mitgetheilte Analysen von Gasen bei heissem und kaltem Gange des Generators dienen. Die Gase wurden aus Steinkohlen erzeugt; bei kaltem Gange enthielt das Gas eine bedeutende Menge Theer, bei heissem Gange nicht.

	Heisser Gang	Kalter Gang
	Gewichtsprocente	
Stickstoff	66.86	68.42
Kohlensäure	7.41	12.14
Kohlenoxyd	21.73	16.56
Wasserstoff	0.47	0.27
Schwerer Kohlenwasserstoff	2.95	1.32
Leichter Kohlenwasserstoff	0.58	1.29.

Dass eine hohe Schüttung zwar die Entstehung einer hohen Temperatur im unteren Theile des Generators befördert, bei Vergasung roher Brennstoffe aber auch die Bildung von Theer begünstigt, wurde schon oben hervorgehoben. Es kommt ferner in Betracht, dass mit der Höhe der Schüttung auch die Widerstände wachsen, welche sich dem Aufsteigen der Gase entgegensetzen, und man deshalb auch einen stärkeren Essenzug beziehentlich eine stärkere Windpressung anzuwenden hat, um den Generator im Betriebe zu erhalten.

Es giebt also eine Grenze für die Höhe der Schüttung, abhängig von der Beschaffenheit des Brennstoffes und der Stärke des Luftzuges, welche nicht ohne Nachtheil überschritten werden kann.

---

1) Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren. Ruhrort 1876, S. 50.

Durchschnittlich dürfte die Höhe der Schüttung in den Generatoren 1 m betragen; es folgt aber aus dem Gesagten, dass die zweckmässigste Höhe nicht in allen Fällen dieselbe sein kann. Je grobstückiger der Brennstoff ist, je weniger flüchtige Körper bei der einfachen Zersetzung desselben entweichen, je schärfer der vorhandene Zug ist, desto höher kann die Schüttung sein. Ein scharfer Zug befördert nicht nur die Ausnutzung des Generators durch Lieferung grösserer Gasmengen, sondern verringert auch aus demselben Grunde die relativen Wärmeverluste durch Ausstrahlung u. s. w. (bezogen auf die Gewichtseinheit vergaster Kohlen) und erleichtert also in doppelter Hinsicht die Erzielung eines heissen Ganges im Generator.

Vorwärmung der Luft ist ein anderes erfolgreiches Mittel zur Temperaturerhöhung des Generators und somit zur Erzielung reicherer Gase. Der Grund hierfür ist S. 24 ausführlicher erörtert worden: durch Anwendung warmer Luft wird die bei der Verbrennung gewonnene Wärmemenge vermehrt ohne Vermehrung der Verbrennungserzeugnisse, mithin die Temperatur gesteigert. Bei neueren Generatoranlagen erwärmt man bisweilen die Luft, indem man sie durch Kanäle im Mauerwerk des Generators hindurchführt.[1] Der Aschenfall muss dann luftdicht geschlossen sein, damit nicht von aussen her kalte Luft zutrete. Das Mittel würde zweifellos häufiger, als es in Wirklichkeit geschieht, benutzt werden, wenn nicht eine praktische Schwierigkeit sich der Anwendung entgegen stellte: die geringere Haltbarkeit der Roststäbe, welche durch kalte Luft ununterbrochen gekühlt werden. Eine künstliche Kühlung derselben aber, wie sie u. a. bei dem erwähnten Möller'schen Generator in Anwendung ist, beeinträchtigt wieder nicht unwesentlich die Einfachheit der Construction.

In Rücksicht auf den schädlichen Einfluss, welchen die durch die Entgasung roher Brennstoffe hervorgerufene Abkühlung auf den Verlauf der Vergasung ausübt, und umgekehrt in Rücksicht auf den ungünstigen Verlauf der Entgasung, wenn man durch allzu hohe Schüttung die Temperatur im Vergasungsraume zu steigern sucht, ist man neuerdings vielfach bemüht gewesen, den Vorgang der Entgasung örtlich von dem der Vergasung zu trennen. Die unten mitgetheilten Beispiele ausgeführter Generatoren werden hierfür die Erläuterung geben.

Jede Aufschüttung frischen Brennstoffes in den Generator ruft natürlich eine Abkühlung desselben und somit eine Aenderung (Verschlechterung) in der Zusammensetzung des Gases hervor. Um diese Ungleichmässigkeiten zu umgehen oder doch abzuschwächen, legt man nicht selten mehrere Generatoren, welche zu verschiedenen Zeiten beschickt werden, zu einer Gruppe zusammen und vereinigt die Gase derselben in einer gemeinschaftlichen Leitung (Siemens'sche Generatoren). Bei einem Betriebe in grösserem Maassstabe erreicht man dadurch den Vortheil einer Centralisirung der gesammten Gaserzeugung und kann dieselbe in besonderen Räumlichkeiten, getrennt von dem Orte der Verwendung des Gases, ausführen. Je länger aber die Gasleitung ist, desto mehr wird das aus dem Generator kommende, immerhin noch heisse

---

1) Z. B. bei einem von C. Möller in Kupferhammer construirten Generator, D. R. P. Nr. 6113.

Gas in derselben abgekühlt, desto mehr Wärme, die andernfalls hätte nutzbar gemacht werden können, geht ungenutzt verloren. Wie später bei Besprechung des Siemens'schen Feuerungssystemes noch erörtert werden wird, ist sogar bei derartigen Anlagen gewöhnlich eine Abkühlung des Gases erforderlich, um es den tiefer liegenden Oefen zuzuführen, und den erforderlichen Zug im Generator hervorzubringen. Aus diesem Grunde ist eine solche Einrichtung vorzugsweise da am Platze, wo ohnehin eine Abkühlung des Gases zur Verdichtung von Wasser oder Theer erforderlich ist.

In anderen Fällen dagegen, besonders bei Verarbeitung wasserarmer Brennstoffe, befolgt man, um die von den Gasen aus den Generatoren mitgenommene Wärme nach Möglichkeit auszunutzen, den entgegengesetzten Weg: man giebt jedem Ofen seinen eigenen Generator und lässt die Gase unmittelbar aus diesem in den Ofen hinübertreten.

Die übliche Einrichtung eines gewöhnlichen Generators für grossstückiges Brennmaterial, sowie die Art und Weise der Gruppirung mehrerer Generatoren zu einem Ganzen ist in den Abbildungen Fig. 13, 14 und 15 erkennbar. *a a* sind zwölf, in zwei parallelen Reihen aufgestellte Generatoren. Zur Erleichterung der Bedienung sind dieselben vertieft eingebaut, so dass ihre Oberkante in einer Horizontalebene mit der Erdoberfläche liegt und man die Kohlen in Wagen auf Schienen bis zur Füllöffnung heranfahren kann. Die Füllöffnung ist durch einen eisernen Deckel *t* (Fig. 14) verschlossen, welcher mit einem Rande in eine ringförmige, ebenfalls aus Eisen gefertigte und mit Wasser, Theer, oder dergleichen gefüllte Rinne eingreift, so dass in einfacher Weise ein luftdichter Abschluss erzielt ist. In einiger Entfernung unter dem Deckel ist eine um eine horizontale Achse drehbare, durch einen Hebel mit Gegengewicht *l* (Fig. 13) emporgedrückte Klappe angebracht. Die Kohlen werden auf die Klappe gestürzt, dann wird der Deckel aufgesetzt und nun erst die Klappe durch Empordrücken des Hebels geöffnet, so dass die Kohlen durch den eisernen Füllcylinder *b* in den Generator hineinstürzen. Die entwickelten Gase treten durch den Seitenkanal *h* in den gemeinschaftlichen Hauptkanal *c*. Jeder einzelne Generator kann durch Schliessung des Ventiles *m*, dessen Einrichtung mit der des oben besprochenen Deckels *t* übereinstimmt, abgestellt und nach Erforderniss ganz kalt gelegt werden; ausserdem lässt sich der Zug im Hauptkanale durch das Ventil *n* abstellen. Theer und Wasser, welche im Hauptkanale condensirt sein sollten, fliessen durch die Oeffnung *o* ab.

Damit beim Beginne des Betriebes ein rascher Zug erzeugt und die in den Kanälen vorhandene Luft entfernt werden könne, sind in dem Hauptkanale mehrere Oeffnungen *f f* mit aufgesetzten Blechschornsteinen f_1 f_1 angebracht, durch welche die Luft entweicht. Während des eigentlichen Betriebes werden diese Schornsteine durch eine Klappe geschlossen.

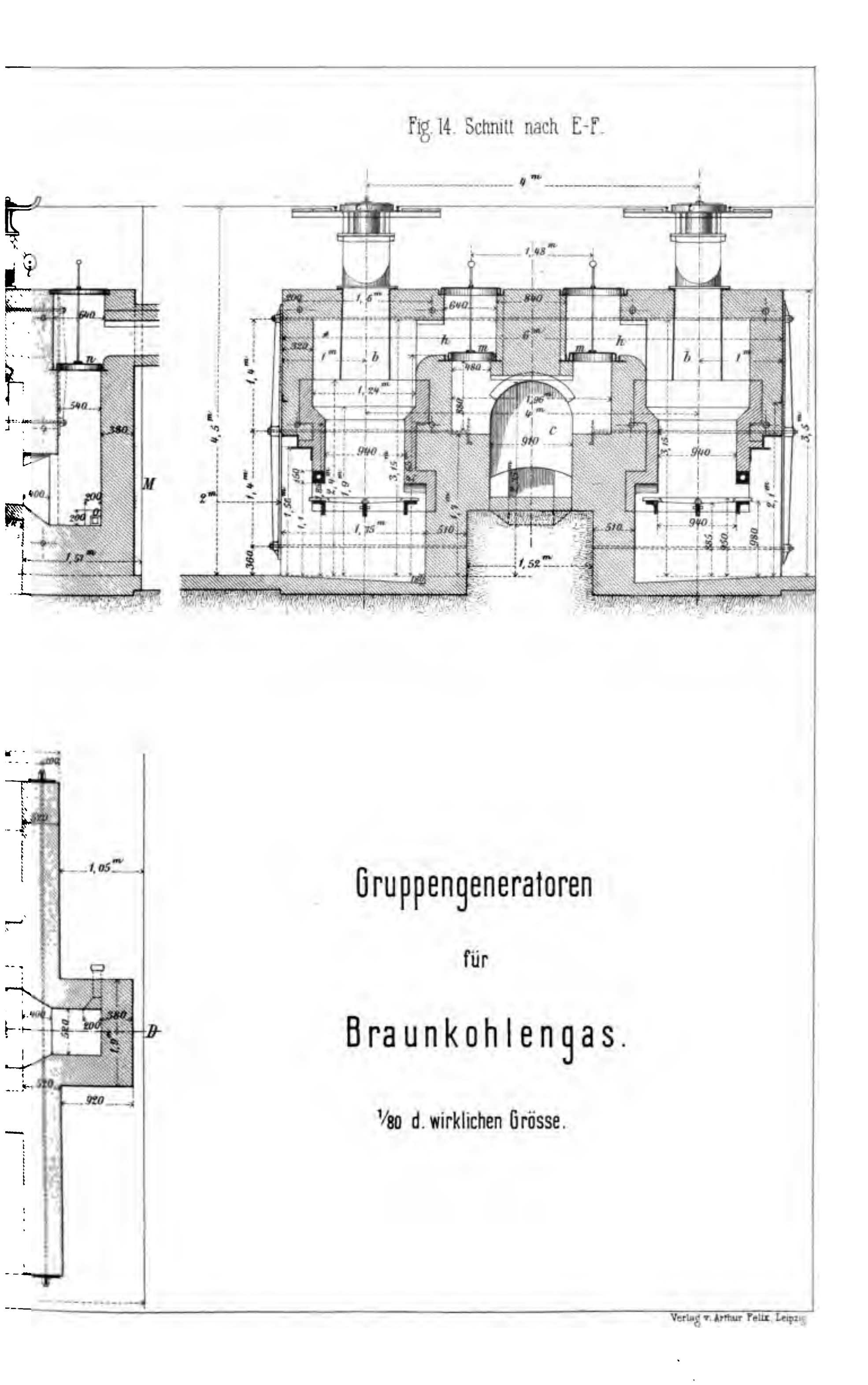
Alles Uebrige dürfte aus den Abbildungen leicht verständlich sein. Die Generatoren sind zur Vergasung grossstückiger Braunkohlen bestimmt und demnach mit Planrost versehen. Mit entsprechenden Aenderungen würden die nämlichen Generatoren auch für andere Brennstoffe brauchbar gemacht werden können. Für kleinstückiges Brennmaterial z. B. würde ein Treppenrost an Stelle oder neben dem Planroste am


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA.

Fig. 13. Schnitt nach A-B. Schnitt nach C-

Fig. 15. Schnitt nach G H J K L M.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

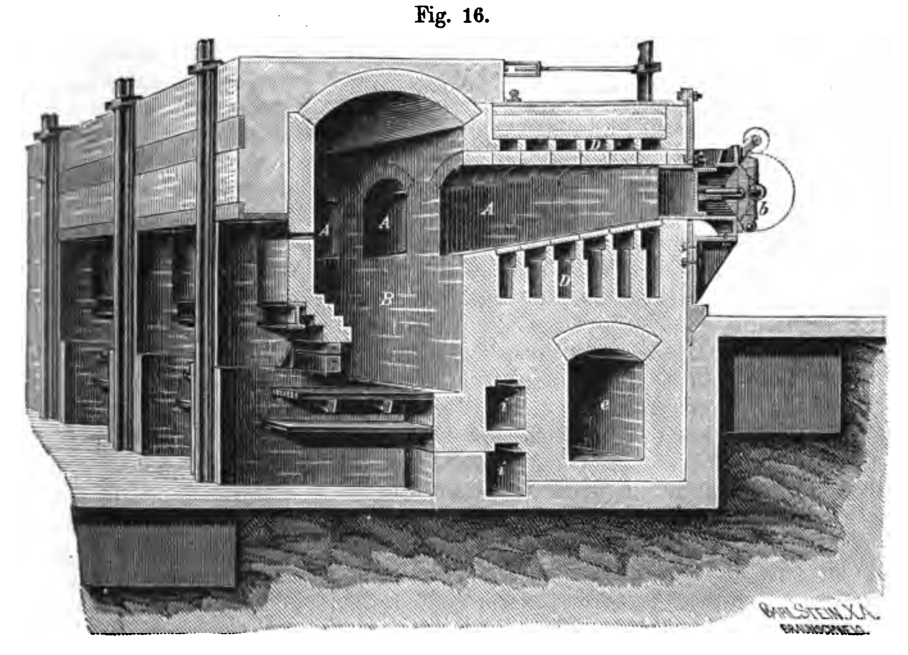


Verlag v. Arthur Felix, Leipzig

Platze sein. Den Steinkohlengasgeneratoren pflegt man in Rücksicht auf die ohnehin feinstückigere Beschaffenheit der Steinkohlen stets entweder einen Treppenrost oder doch einen geneigten Planrost zu geben. Um einen grösseren Fassungsraum bei geringerer Schütthöhe (die für dicht liegende Steinkohlen unerlässlich ist) zu erlangen, giebt man der Rückwand eine Neigung nach aussen, so dass der Generator sich nach oben erweitert, und überspannt denselben durch ein Gewölbe, in welchem die Füllöffnung sich befindet (vergl. unten die Abbildungen Fig. 26 und 28, Oefen mit Steinkohlengasgeneratoren darstellend).

Die Aufgabe, den Entgasungs- und Vergasungsraum im Generator örtlich von einander zu trennen, wird in vollkommener Weise durch den Gröbe-Lürmann'schen Gasgenerator gelöst, welcher u. a. im Eisen- und Stahlwerk Osnabrück mit befriedigendem Erfolge in An-

Fig. 16.



wendung ist. Fig. 16 zeigt in perspectivischer Ansicht die Einrichtung desselben. *A A* sind retortenartige Entgasungsräume, von denen einer oder mehrere angeordnet sein können, den Verkokungsräumen der auf S. 79 besprochenen Lürmann'schen Verkokungsöfen ähnlich eingerichtet und mit mechanischer Beschickungsvorrichtung *b* versehen, welche die einfallenden Kohlen mit einer der fortschreitenden Zersetzung entsprechenden Geschwindigkeit allmählich vorwärts schiebt. Die geneigte Sohle des Entgasungsraumes erleichtert diese Bewegung. Sämmtliche Entgasungsräume münden in den gemeinschaftlichen Vergasungsraum *B*, welcher die aus jenen herausgedrückten, bereits entgasten Kohlen aufnimmt und unten mit Rost versehen ist, durch welchen die für die Vergasung erforderliche atmosphärische Luft zutritt. Jedem Entgasungs-

raume *A* gegenüber befindet sich in der Stirnwand des Vergasungsraumes eine, auch in der Abbildung sichtbare, durch eine Glimmerplatte oder in anderer Weise geschlossene Schauöffnung zur Beobachtung der Vorgänge im Inneren.

Die in beiden Räumen entwickelten Gase mischen sich und gelangen durch eine in der Abbildung nicht sichtbare Oeffnung in der Seitenwand oder dem Gewölbe des Generators nach dem in unmittelbarer Nähe des letzteren — über, neben oder unter demselben — angeordneten Ofen, um hier durch zugeführte Luft, welche in den Kanälen *i i* vorgewärmt wird, verbrannt zu werden. Aus diesem Ofen nun treten die noch heissen Verbrennungsgase in die Kanäle *D*, umkreisen in denselben die Retorten (Entgasungsräume), um diese auf die für die Entgasung erforderliche Temperatur zu erhitzen und schliesslich nach der Esse oder einem andern, fernerhin durch die ihnen noch innewohnende Wärme (Abhitze) zu heizenden Apparat geführt zu werden. Der Kanal *e* hat den Zweck, diejenigen Verbrennungsgase aufzunehmen, welche bei sehr starker Gasentwickelung oder ungenügendem Essenzuge nicht rasch genug durch die engen Kanäle *D* entweichen können und dient also gewissermaassen als Reservekanal für die aus dem Ofen abziehenden Gase.

Die Breite eines solchen Generators (von der Beschickungsseite nach der gegenüber liegenden Seite gemessen) ist 3.65 m, die Länge ist abhängig von der Anzahl der Entgasungsräume und beträgt für zwei Entgasungsräume 3.78 m, für jeden folgenden 1.15 m mehr. Die Menge der innerhalb 24 Stunden zu vergasenden Steinkohlen beträgt per Entgasungsraum 1200—1800 kg, die Bewegungsgeschwindigkeit derselben innerhalb des Entgasungsraumes ca. 12 mm per Minute.

Ausser den schon geschilderten Vortheilen, welche überhaupt eine Trennung der als Entgasung und Vergasung bezeichneten Vorgänge bei Verarbeitung roher Brennstoffe mit sich bringt, gewährt die Einrichtung des Gröbe-Lürmann'schen Generators noch verschiedene andere. Die Entgasung beginnt an dem äussersten Ende der Retorte, und die entwickelten Gase und Dämpfe sind gezwungen, durch die den Entgasungsraum *A* anfüllende Kohlenschicht hindurch ihren Weg zu nehmen, um in den Raum *B* zu gelangen. Dabei werden sie immer stärker erhitzt, treffen auf immer heissere Kohlen und werden infolge davon derartig zerlegt, dass Wasserdampf sich in Kohlenoxyd und Wasserstoff, theerige Bildungen sich in gasförmigen Kohlenwasserstoff und feste Kohle umwandeln. Der Umstand aber, dass die entgasten Kohlen bereits hoch erhitzt in den Vergasungsraum gelangen, befördert hier die Entstehung einer hohen Temperatur, die Kohlenoxydbildung ist reicher, die Kohlensäurebildung geringer als in niedrigerer Temperatur, und alle diese Umstände vereinigen sich, die Erzeugung eines an nachtheiligen Bestandtheilen reineren, an brennbaren Körpern reicheren Gasgemisches als in gewöhnlichen Generatoren zu befördern. Zur Erhitzung und Zerlegung der rohen Kohlen aber dient nur die abziehende Wärme (Abhitze) des zu heizenden Ofens, nicht, wie bei anderen Generatoren, die durch die Vergasung (Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd) gewonnene Wärme. Die Gase treten heiss in den Ofen ein und machen somit eine entsprechende Menge jener abziehenden Wärme aufs Neue nutzbar.

Es entsteht eine hohe Verbrennungstemperatur und eine günstige Ausnutzung der Wärme.

Ein ähnliches Ziel, als es im Gröbe-Lürmann'schen Generator erreicht wird — Trennung der Entgasung und Vergasung —, ist auch in anderer Weise verschiedentlich angestrebt worden.

Bei einem von Thum vorgeschlagenen Gasgenerator (vergl. Literatur) sind zwei in Verbindung mit einander gesetzte Schächte angeordnet. Ist der eine derselben beschickt, so treten die mit Wasser und Theer beladenen Gase desselben in den zweiten Schacht, ziehen hier abwärts durch die auf dem Roste desselben befindliche glühende Kohlenschicht hindurch und werden dann ihrem Bestimmungsorte zugeführt; ist die Entgasung in dem ersten Schachte vollendet und sind die Kohlen in demselben zum Glühen erhitzt, so wird der zweite Schacht beschickt und mit Hilfe einer Umsteuerung (Klappe) zwingt man nun die sich hier entwickelnden Gase, den umgekehrten Weg als zuvor zu nehmen; u. s. f. Verschiedene praktische Bedenken, die Abhängigkeit des Verlaufs des Processes von der Aufmerksamkeit der Arbeiter, die jedenfalls geringe Haltbarkeit der Roste, die Schwierigkeit, sie zu reinigen u. a. m. stellen sich jedoch der Thum'schen Construction entgegen, welche auch eine ausgebreitetere Anwendung nicht gefunden zu haben scheint.

In zweckmässigerer Weise dürfte ein von W. Gorman gebauter Generator die gleiche Aufgabe lösen (D. R.-P. Nr. 2155; vergl. auch unter Literatur: Pütsch, Sachliche Würdigung etc.). Hier ist, wie gewöhnlich, ein einziger Generatorschacht angeordnet, unten durch Planroste, oben durch eine Füllvorrichtung geschlossen. Derselbe wird bis oben hin mit Brennstoff gefüllt; die Gase entweichen durch Oeffnungen, welche am Umfange des Generators ungefähr in der Mitte seiner Höhe gleichmässig vertheilt sind und in einen aussen rings herum laufenden Sammelraum münden. Der Betrieb erfolgt durch Gebläsewind; ein Theil desselben strömt von unten aus dem geschlossenen Aschenfalle durch den Rost, wie gewöhnlich, aufwärts, ein anderer Theil wird über die frisch aufgeschütteten Kohlen von oben her eingeführt und nimmt von hier seinen Weg abwärts. Während also in der unteren Hälfte des Generators Vergasung stattfindet und die Kohlen dabei zum Glühen erhitzt werden, ziehen die im oberen Theile entstandenen Entgasungs-Erzeugnisse abwärts, treffen hierbei auf jene glühenden Kohlen und werden zersetzt.

Bei Verarbeitung wasserreicher Brennstoffe (Lignite, Braunkohlen, Holz, Torf) ist es, wie schon erwähnt wurde, mitunter erforderlich, eine Condensationsvorrichtung für den gebildeten Wasserdampf und Theer in die Gasleitung einzuschalten, sofern man hohe Verbrennungstemperaturen erzielen will. Diese Vorrichtung besteht gewöhnlich aus mehreren übereinander kreuzweise angeordneten horizontalen Lagen von Eisenstäben, welche gitterartig neben und übereinander gelegt sind, solcherart die hindurchziehenden Gase auf eine grosse Fläche vertheilend. Das Ganze ist in einem gemauerten thurmartigen Kanale angeordnet. Oberhalb der Eisenstäbe liegt ein Wasserleitungsrohr mit zahlreichen Oeffnungen, aus welchen die Stäbe mit einem feinen Regen benetzt werden. Das

Einspritzwasser wie das condensirte Wasser und der Theer sammeln sich unterhalb der Stäbe und lassen sich durch einen mit dem äusseren Raume communicirenden Kanal entfernen. Derartige Condensatoren sind u. a. auf dem Eisenwerke zu Riesa (für Braunkohlengas) sowie auf einigen kärntnischen und schwedischen Eisenwerken (für Braunkohlen- und Holzgas) in Anwendung.

Selbst Sägespäne sind durch Einschaltung eines derartigen, ausreichend geräumigen Condensators in die Leitung noch in gut brauchbares Gas für Schweissöfen umgewandelt worden (Lundin's Condensator, vergl. Literatur).

Zu erwägen bleibt immerhin bei einer derartigen Anlage, ob nicht eine Zerlegung der gebildeten nachtheiligen Körper und Umwandlung in brennbare Gase durch Einwirkung glühender Kohle, wie sie z. B. in dem Gröbe-Lürmann'schen Generator stattfindet, aber auch in anderer Weise zu erreichen sein würde, vortheilhafter als die Condensation sei; denn jede Condensation ist gleichbedeutend mit einem Verluste von Wärme.

Das Wassergas und sein Gemisch mit Luftgas.

Mehrfach war bereits in Vorstehendem jenes Vorganges gedacht, dem das Wassergas seine Entstehung verdankt: ein Zerfallen von Wasserdampf in Berührung mit glühender Kohle unter Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff. Dieser Process findet in gewöhnlichen Generatoren nicht selten neben der Bildung des eigentlichen Generatorgases (Luftgases) statt, wenn man wasserhaltige Brennstoffe verarbeitet und die Temperatur hoch genug zur Zerlegung der Wasserdämpfe u. s. w. ist (z. B. im Gröbe-Lürmann'schen Generator); er ist auch als selbstständiger Process zur Darstellung brennbarer Gase, des eigentlichen Wassergases, seit einer Reihe von Jahren in die Praxis eingeführt worden.

Schon in den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts wurden — zuerst durch Donnovan in Dublin, bald darauf durch Selligue in Paris — mehrfache Versuche in grösserem Maassstabe gemacht, Wassergas technisch darzustellen und zu verwerthen, sei es zu Heizzwecken oder zur Beleuchtung, nachdem ihm für letzteren Zweck entweder durch Beimengung flüchtiger Kohlenwasserstoffe die Eigenschaft, mit leuchtender Flamme zu brennen, ertheilt worden war, oder auch, indem man es unter einem Korbe aus Platindrahtgewebe verbrennen liess, welcher ins Weissglühen gerieth und dabei ein klares, ruhiges Licht ausstrahlte. In dieser Weise wurde z. B. die Stadt Narbonne in den Jahren 1855 bis 1865 erleuchtet.

Die allgemeinere Anwendung des Wassergases, insbesondere auch die Anwendung desselben zu Heizzwecken, scheiterte jedoch lange Zeit hindurch an dem Umstande, dass die Erzeugung des Gases einen ganz erheblichen Verbrauch an Wärme erheischt, der nur durch Verbrennung anderweitiger Brennstoffe gedeckt werden kann.

Denkt man sich den ideellen Vorgang bei der Wassergaserzeugung folgendermaassen:

$$H_2O + C = 2H + CO,$$

so lässt sich unschwer berechnen, dass für jedes kg zerlegten Wasserdampfes 1591 W.-E. oder für jedes kg vergasten Kohlenstoffes 2387 W.-E.

mehr verbraucht als durch die Oxydation des Kohlenstoffes gewonnen werden[1]; wird diese Wärmemenge nicht ersetzt, so tritt Abkühlung und demnächstige Unterbrechung des Processes ein.

In der Wirklichkeit nun gestaltet sich der Verlauf des Processes etwas anders, indem ein Theil der Kohle zu Kohlensäure statt zu Kohlenoxyd verbrennt:

$$2H_2O + C = 4H + CO_2.$$

Bei der Kohlensäurebildung aber ist, wie bekannt, die Wärmeentwickelung beträchtlich höher als bei Kohlenoxydbildung, sofern man dieselbe auf die Gewichtseinheit vergasten Kohlenstoffes bezieht (S. 20); und die Rechnung ergiebt, dass bei dem Vorgange nach letzterer Formel der Mehrverbrauch an Wärme per kg zerlegten Wasserdampfes 658 W.-E. oder per kg vergaster Kohle 1974 W.-E. beträgt. Auch in diesem Falle tritt also, wenn auch langsamer, Abkühlung und somit ein Erlöschen des Processes ein, sofern nicht die verbrauchte Wärme (zu der noch die durch Ausstrahlung u. s. w. verloren gehende hinzukommt) in anderer Weise ersetzt wird; und da Kohlenoxyd, wie früher erörtert, das Ergebniss einer Verbrennung in hoher Temperatur ist, Kohlensäure dagegen in niedriger Temperatur entsteht, so reichert sich zunächst, sofern jener Ersatz an Wärme nicht stattfindet, der Kohlensäuregehalt des Gasgemisches mehr und mehr an, während der Kohlenoxydgehalt abnimmt, bis schliesslich die Temperatur auf jene Grenze gesunken ist, wo die Gasbildung aufhört.

Bei ausschliesslicher Bildung von Kohlenoxyd liefert 1 kg Kohle obiger Formel zufolge $^1/_6$ kg Wasserstoff mit einer Wärmeleistung von $^1/_6 \times 29\,161 = 4860$ W.-E. und $^7/_3$ kg Kohlenoxyd mit einer Wärmeleistung von $^7/_3 \times 2403 = 5607$ W.-E., also ein Gasgemisch mit einer Gesammtwärmeleistung von 10 467 W.-E. Bei ausschliesslicher Bildung von Kohlensäure dagegen entsteht als brennbarer Bestandtheil des Gasgemisches per kg vergaster Kohle mit der doppelten Menge Wasser als in jenem Falle nur $^1/_3$ kg Wasserstoff mit einer Wärmeleistung von $^1/_3 \times 29\,161 = 9720$ W.-E. Der Rauminhalt des erfolgenden Gases aber ist bei Wasserstoff- und Kohlensäurebildung anderthalbfach so gross als bei Wasserstoff- und Kohlenoxydbildung, ein Umstand, der für die praktische Verwendbarkeit des ersteren Gemisches jedenfalls nicht günstig ist.

Bei den neueren Apparaten zur Wassergaserzeugung für Heizzwecke[2] wird ein Theil der zu vergasenden Kohle zunächst durch Luftzuführung verbrannt, um die für die Zersetzung erforderliche Wärme zu liefern, alsdann wird der überhitzte Wasserdampf zugeleitet. Der Strong'sche Apparat z. B. besteht aus einem schachtförmigen Generator[3], der in seinem unteren verjüngten Theile einen Rost trägt

1) Man erwäge, dass zur Zerlegung von Wasserdampf dieselbe Wärmemenge erforderlich ist, welche bei der Bildung desselben durch Verbrennung von Wasserstoff erzeugt wurde (29 161 W.-E. per kg Wasserstoff).

2) Apparat von Myron Hopkins Strong, D. R. P. Nr. 3178; von G. Spring Dwight, D. R. P. Nr. 3515 und 13 490; von Herm. Haug, D. R. P. Nr. 13 733.

3) Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1881, S. 111 (Winkler).

und oben in eine, für gewöhnlich geschlossene, Oeffnung endigt, durch welche das Brennmaterial, beispielsweise Steinkohle, eingefüllt und nachgetragen wird. An diesen Generator schliessen sich, durch Wände aus feuerfesten Steinen geschieden und durch Kanäle mit dem Generator wie unter sich verbunden, mehrere gleich hohe Vertikalkammern, sogenannte Regeneratoren an, welche mit Ziegeln gitterförmig ausgesetzt sind, und von denen sich einer an der linken, zwei an der rechten Seite des Generators befinden. Die mit Ventilen versehenen Ausgänge der beiden an den Enden befindlichen Regeneratoren gestatten, die durch Einblasen von Luft, beziehentlich Wasserdampf, erzeugten gasförmigen Körper je nach ihrer Beschaffenheit entweder in eine Esse oder als Heizgas in die zur Fortleitung desselben bestimmte Leitung eintreten zu lassen.

Es sei nun die Steinkohlenfüllung des Generators in Brand gesetzt und ein unter dem Roste desselben mündendes Gebläse angelassen. Es erfolgt dann lebhafte Verbrennung, und man richtet hierbei die Ventilstellung so ein, dass sämmtliche Gase nach den beiden rechtsseitig gelegenen Regeneratoren abziehen können, derartig, dass sie den ersten Regenerator von oben nach unten, den zweiten von unten nach oben durchstreichen, worauf sie in den Schornstein eintreten. Zur Verbrennung des in dem Gase noch enthaltenen Kohlenoxydes, Theerdampfes u. s. w. lässt man bei dem Eintritte in den ersten Regenerator einen zweiten Windstrahl zutreten. Die entwickelte Wärme aber wird nun beim Hindurchziehen der Gase durch die mit Ziegeln ausgesetzten Regeneratoren an diese abgegeben, gewissermaassen in denselben aufgespeichert, bis diese sowohl als auch die im Generator befindlichen Kohlen in hohe Temperatur gebracht worden sind. Nun wird das Gebläse abgestellt, der Schornstein geschlossen und umgesteuert, während man am Ausgangsende des letzten rechtsseitigen Generators einen Dampfstrahl einbläst. Derselbe nimmt den entgegengesetzten Weg als vorhin die Verbrennungsgase, erhitzt sich innerhalb der Regeneratoren durch Aufnahme eines Theiles der dort aufgespeicherten Wärme und durchzieht nun in diesem stark überhitzten Zustande die glühende Kohlensäule von oben nach unten, dabei in Wassergas sich umwandelnd, welches schliesslich in den linksseitigen Regenerator übertritt, dort seine Hitze abgiebt und als fertiges Gas der Verbrauchsstelle zugeleitet wird.

Ist nun durch das Sinken der Temperatur der Gaserzeugung eine Grenze gesetzt, so ist eine neue Luftzuführung zur abermaligen Entwickelung von Wärme nothwendig. Man bläst nunmehr die Luft in umgekehrter Richtung als vorher, also von oben nach unten durch den Generator und führt, sobald die zur Wassergaserzeugung erforderliche Temperatur wieder erreicht ist, auch den Wasserdampf in umgekehrter Richtung, also durch den inzwischen erhitzten linksseitigen Regenerator zu. Das gebildete Wassergas wird dann auf der rechten Seite abgeführt, nachdem es seine Wärme an die hier gelegenen Regeneratoren abgegeben hat. Indem man also bei der Behandlung der im Generator befindlichen Kohle abwechselnd mit Luft und mit Wasserdampf einmal nach rechts und einmal nach links arbeitet, erzielt man unter Wiedergewinnung eines grossen Theiles der von den Gasen entführten Wärme eine intermittirende Wassergaserzeugung, die sich durch Anwendung

zweier abwechselnd arbeitender Apparate selbstredend zur continuirlichen gestalten lässt.

Bei Versuchen von Bunte mit dem Strong'schen Gaserzeuger ergab sich, bei Anwendung von Koks, dass 1 kg Kohlenstoff incl. des zum Heizen verbrauchten (d. h. durch Zuführung von Luft verbrannten) Kohlenstoffes 1.53 cbm Wassergas lieferte[1]), dessen Zusammensetzung durchschnittlich folgende war:

Kohlenoxyd	34.5	Vol.
Wasserstoff	50.0	„
Kohlensäure	7.3	„
Sauerstoff	0.7	„
Stickstoff	7.5	„

Dagegen zeigte sich, wie aus den oben gegebenen Erläuterungen leicht erklärlich ist, eine stetige Zunahme des Kohlensäuregehaltes von dem Augenblicke des Einlassens des Dampfes an bis zum erneuerten Umschalten; der Kohlensäuregehalt des Gases betrug nach 5 Minuten 4.6 Volumproc., nach 10 Minuten 6.0, nach 30 Minuten 12.5 Volumproc.

Es ist leicht einzusehen, dass eine günstigere Ausnutzung der Kohlen bei der Bildung von Wassergas im Vergleiche mit der Bildung von gewöhnlichem Luftgase keineswegs erreicht wird; denn dieselbe Wärmemenge, welche der im Wassergase enthaltene Wasserstoff bei seiner Verbrennung zu entwickeln fähig ist, muss im Generator durch einen äquivalenten Verbrauch von Kohle gedeckt werden, und zu diesem theoretisch erforderlichen Kohlenverbrauche kommt noch der durch die unvermeidlichen Wärmeverluste in den Regeneratoren u. s. w. hervorgerufene Mehrverbrauch. Der eigentliche Vorzug des Wassergases liegt deshalb in zwei ganz anderen Umständen. Erstens ist der Rauminhalt des aus der gleichen Menge Kohlen gewonnenen Wassergases erheblich geringer als bei Vergasung jener Kohlen durch Luft; und dieser Unterschied tritt noch deutlicher hervor, wenn man die Wärmeleistungsfähigkeit gleicher Gasvolumina berücksichtigt. Die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung von Wassergas nach der von Bunte gefundenen Zusammensetzung entwickelt wird, verhält sich zu der durch das gleiche Volumen aus verkohlten Brennstoffen dargestellten Luftgases[2]) entwickelten Wärme annähernd wie 2.2 : 1, wie sich unschwer berechnen lässt; d. h. also, man gebraucht nur ungefähr das halbe Volumen Wassergas, um die gleiche Wärme als durch das ganze Volumen Luftgas zu erzeugen, ein Umstand, welcher die Fortleitung des Gases erheblich erleichtert.

Zweitens aber kommt bei der Erzeugung und Verwendung von Wassergas in Betracht, dass jene Wärme, welche zur Zerlegung des Wasserdampfes erforderlich ist, an der Erzeugungsstelle verbraucht wird, während die durch Verbrennung des erfolgenden Wasserstoffgases

1) Bei vollständiger Umwandlung der Kohle in Wassergas, also bei Vernachlässigung der zum Heizen erforderlichen würde theoretisch aus 1 kg Kohlenstoff 3.9 cbm Wassergas erfolgen.

2) Die durchschnittliche Zusammensetzung desselben ist oben mitgetheilt.

frei werdende Wärme erst an dem Verbrennungsorte, der beliebig weit von jener entfernt sein kann, nutzbar gemacht wird. Wenn also thatsächlich, wie schon hervorgehoben wurde, ein eigentlicher Wärmegewinn durch die Umwandlung von Kohle und Wasserdampf in Wassergas nicht erreicht wird, ja sogar gewisse Wärmeverluste dabei unvermeidlich sind, so erreicht man doch bei diesem Verfahren den Vortheil, dass Wärmeverbrauch und Wärmeerzeugung örtlich getrennt sind oder, mit anderen Worten, dass man, ohne die Kohlen selbst transportiren zu müssen, im Stande ist, an ihrem Fundorte sie gewissermaassen — man gestatte den Vergleich — zu einer Einzahlung von Wärme zu benutzen, um an einem beliebig entfernten Orte durch Verbrennung des Gases die Auszahlung zu erhalten. Auch gewöhnliches Generatorgas lässt sich beliebig weit in Leitungen fortführen; bei diesem aber fällt jener durch die Wasserzersetzung hervorgerufene Wärmeverbrauch bei der Erzeugung — die Einzahlung — fort, welcher am Verbrauchsorte wieder gewonnen wird; es wird sogar bei der Kohlenoxydbildung durch atmosphärischen Sauerstoff freie Wärme entwickelt, und dieselbe geht unwiederbringlich verloren, wenn das Gas in langen Leitungen abgekühlt wird.

Es folgt aus diesen Eigenthümlichkeiten des Wassergases, dass dasselbe als besonders geeignet für solche Verwendungen erscheinen muss, wo die Fundstätte der Kohlen und der Verbrauchsort weit auseinander liegen; und in diesem Falle auch nur dann, wenn der gesammte Bedarf an Wärme grossartig genug ist, um eine örtliche Trennung des Erzeugungsortes und Verbrauchsortes, welche getrennte Anlagen, getrennte Betriebsführung, Anlage von Leitungsröhren u. s. w., also in jedem Falle ein grosses Anlage- und Betriebscapital erforderlich macht, auch ökonomisch vortheilhaft erscheinen zu lassen. Wenn daher alle Aussicht ist, dass für Heizung grösserer Städte und zu ähnlichen Zwecken das Wassergas in nicht ferner Zeit eine ausgedehntere Verwendung finden wird, so ist doch kaum zu erwarten, dass es auf Eisenwerken das in einfacherer Weise gewinnbare Generatorgas (Luftgas) verdrängen werde, es sei denn, dass die Lage dieses oder jenes Eisenwerkes einen leicht zu ermöglichenden Anschluss an eine für allgemeinere Zwecke hergestellte Anlage für Wassergaserzeugung gestattet.

Da bei der Erzeugung von Luftgas Wärme gewonnen, bei der Erzeugung von Wassergas Wärme verbraucht wird, so lässt sich schliessen, dass bei einer Vereinigung beider Processe durch gleichzeitige Zuführung von Luft und Wasserdampf, welche mit einander gemischt sind, es möglich sein wird, einen Gleichgewichtszustand herzustellen, in welchem weder eine Abkühlung noch eine fernere Erhitzung des Generators eintritt, und in welchem ununterbrochen ein Gemisch von Luftgas und Wassergas erfolgt. Diese Erzeugung von Mischgas wurde bereits früher mehrfach berührt; sie tritt in jedem Luftgenerator ein, sobald bei der Zersetzung wasserhaltiger Brennstoffe die entwickelten Wasserdämpfe durch glühende Kohlen hindurchgeführt werden; auch der nie ganz fehlende Wassergehalt der in den Generator

geführten Luft ruft eine gleiche Wirkung hervor. Wie gross das Verhältniss des von aussen zugeführten Wasserdampfes zu der Menge der vergasten Kohlen sein kann, ohne dass die Vergasung unterbrochen wird, hängt von der Beschaffenheit der Kohlen, der Einrichtung des Generators und der Temperatur des Wasserdampfes selbst ab. Je mehr Wärme im Generator zur Zerlegung roher Brennstoffe, zur Verdampfung von hygroskopischem Wasser verbraucht wird, je grösser die Wärmeverluste durch Ausstrahlung u. s. w. sind, desto niedriger wird sich die Menge des zulässigen Wasserdampfes beziffern. Bunte fand bei diesbezüglichen Versuchen, dass in einem heiss gehenden, mit Koks betriebenen Generator per kg Kohlenstoff bis 0.75 kg Wasserdampf zugeführt werden könne, ohne dass Abkühlung unter die für die Gasbildung erforderliche Grenze eintritt; es würde also in diesem Falle die Hälfte der Kohlen zu Luftgas-, die andere zu Wassergaserzeugung verbraucht werden.

In der Praxis macht man von diesem Umstande mitunter Gebrauch, indem man Luft, die mit Wasserdampf gesättigt ist, oder auch Wasserdampf neben der Luft unter den Rost des gewöhnlichen Gasgenerators führt. Ob thatsächlich dadurch eine günstigere Ausnutzung des Brennstoffes herbeigeführt werde, bleibt mindestens zweifelhaft; denn in demselben Maasse, wie durch Zersetzung von Wasserdampf der Wasserstoffgehalt des Mischgases zunimmt, mehrt sich auch infolge des grösseren Wärmeverbrauches im Generator der Kohlensäuregehalt und mindert sich der Kohlenoxydgehalt. Was also auf der einen Seite gewonnen wird, geht auf der andern zum Theil wieder verloren; und vollständig nutzlos für die Brennstoffausnutzung bleibt das erwähnte Verfahren jedenfalls dann, wenn die Gase noch heiss, also ohne Einschaltung einer längeren Leitung, an den Verbrennungsort gelangen. Die im Generator entwickelte überschüssige Wärme wird in diesem Falle vortheilhafter zur Erhitzung der austretenden Gase als zur Zerlegung von Wasserdampf verwendet.

Ein anderer, praktisch nicht unwichtiger Grund zur Anwendung feuchter Luft für den Betrieb gewöhnlicher Gasgeneratoren ist die dadurch bewirkte grössere Schonung der Ofenwände, welche in heiss gehenden Generatoren durch die aus der Asche sich bildende Schlacke oft erheblich angegriffen werden. Durch die Temperaturerniedrigung, welche die Zerlegung des Wasserdampfes mit sich bringt, wird dieser Uebelstand abgemindert oder ganz beseitigt. Häufig lässt sich ein merklicher Erfolg in dieser Beziehung schon erreichen, indem man im Aschenfalle einen Wassertümpel erhält, aus dem das Wasser allmählich verdunstet, um sich mit der aufsteigenden Luft zu mischen.

Literatur.

A. - Ueber sämmtliche Arten von Brennstoffen.

J. Percy, Die Metallurgie. Erster Band, deutsch bearbeitet von F. Knapp. S. 53—211. Braunschweig 1862.

J. Percy, Metallurgy, the art of extracting metals. 2nd edition, vol. I. London 1875.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von Franz Kupelwieser. Band I, S. 70—168. Paris 1877.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. 1. Band, S. 200 ff. Leipzig 1881.

E. F. Dürre, Allgemeine Hüttenkunde. S. 91—253. Leipzig 1877.

B. Kerl, Grundriss der Allgemeinen Hüttenkunde. S. 64—198. Leipzig 1879.

H. Grothe, Die Brennmaterialien und die Feuerungsanlagen für Fabriken, Gewerbe und Haus. Weimar 1870.

P. W. Brix, Untersuchungen über die Heizkraft der wichtigeren Brennstoffe des preussischen Staates. Berlin 1853.

B. Ueber Holz und Holzkohlendarstellung.

a. Grössere Werke.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Einrichtung der Eisenhütten. S. 412. (Darren des Holzes.) Leipzig 1873.

C. v. Berg, Anleitung zum Verkohlen des Holzes. 2. Aufl. Darmstadt 1860.

Gillot, De la carbonisation du bois. Paris 1872.

Dromart, Traité de la carbonisation en forêts. Paris 1880.

b. Abhandlungen.

R. Martin's zerlegbarer Holzverkohlungsofen. Dingler's Polyt. Journal, Bd. 233, S. 132.

T. Egleston, The manufacture of charcoal in kilns. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Vol. VIII, p. 373; auszugsweise in der Ztschr. d berg- und hüttenm. Ver. f. Steierm. u. Kärnten 1880, S. 516.

J. Birkinbine, The production of charcoal for Iron Works. Transactions of the American Institute of Min. Eng., Vol. VII, p. 149; auszugsweise in Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 194.

P. Tunner, Das Trocknen der Holzkohle bei den Hochöfen zu Dalkarlshyttan. Aus Jern-Contorets Annaler 1881 in der Ztschr. des berg- und hüttenm. Ver. f. Steierm. und Kärnt. 1881, S. 411.

C. Ueber Torf, seine Aufbereitung und Verkohlung.

a. Grössere Werke.

A. Vogel, Der Torf, seine Natur und Bedeutung. Braunschweig 1859.

A. Hausding, Industrielle Torfgewinnung und Torfverwerthung. Berlin 1873.

E. Birnbaum und K. Birnbaum, Die Torfindustrie und die Moorcultur. Braunschweig 1880.

b. Abhandlungen.

C. Schlickeisen, Verbesserungen an Torfmaschinen. Dingler's Polyt. Journ., Bd. 234, S. 181.

Derselbe, Zur Geschichte der Torfmaschinen. Dingler's Polyt. Journ., Bd. 238, S. 199.

Mecke und Sander's Torfmaschinen. Dingler's Polyt. Journ., Bd. 238, S. 199.

A. M. Balling, Die Verwendung des Torfes bei dem Eisenhüttenwerke Josefsthal. Oestr. Ztschr. für Berg- und Hüttenwesen 1877, S. 495 (mit Abbildung der Torfverkohlungsöfen).

A. Enigl, Ueber Mitverwendung von Maschinentorf beim Hochofenbetriebe. Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steierm. u. Kärnt. 1879, S. 41.

D. Ueber Braunkohle.

a. Grössere Werke.

C. F. Zincken, Die Braunkohle und ihre Verwendung. 2 Bände. Hannover 1867 und 1871.

b. Abhandlungen.

A. Scheurer-Kestner et Meunier, Composition et chaleur de combustion des lignites. Annales de chim. et de phys. série 4, vol. 26, p. 80.

F. Kupelwieser, Studien über die Verwendung von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe. Ztschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steierm. und Kärnt. 1881, S. 260.

E. Ueber Steinkohle, ihre Aufbereitung und Verkokung.

a. Grössere Werke.

H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas, ihre Natur, Lagerungsverhältnisse, Verbreitung, Geschichte, Statistik und technische Verwendung. 2 Bände. München 1865.

Fr. Muck, Grundzüge und Ziele der Steinkohlenchemie für Lehrende und Lernende. Bonn 1881.

E. Noeggerath, Untersuchungen über die Heizkraft der Steinkohlen des Niederschlesischen Reviers. Waldenburg 1881.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Einrichtung der Eisenhütten. S. 424 ff. (Aufbereitung und Verkokung). Leipzig 1873.

A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage. Paris 1881.

b. Abhandlungen.

A. Scheurer-Kestner et Meunier, Recherches sur la combustion de la houille. Bulletin de la Société de Mulhouse t. 38, p. 195, 311; t. 39, p. 385; Comptes rendus vol. 66, p. 1047, 1220; vol. 67, p. 659, 1002; vol. 68, p. 608; vol. 69, p. 412; auszugsweise in Dingler's Polyt. Journ., Bd. 196, S. 22 u. 38; auch Ann. de chim. et de phys. sér. 4, vol. 20, p. 66.

M. L. Gruner, Pouvoir calorifique et classification des houilles. Annales des mines, sér. 7, t. 4, p. 169; Berg- und hüttenm. Ztg. 1874, S. 96; Dingler's Polyt. Journ., Bd. 213, S. 244.

C. Hilt, Die Beziehungen zwischen Zusammensetzung und technischen Eigenschaften der Steinkohlen. Dingler's Polyt. Journ., Bd. 208, S. 424; Polyt. Centralblatt 1873, S. 1018; Ztschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1873, S. 193.

J. Stutz, Coal Washing. Transactions of the Amer. Inst. of Min. Eng. vol. 9, p. 461.

Kreischer, Die Lührig'sche Kohlenwäsche Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Königr. Sachsen auf das Jahr 1878, S. 83.

Kreischer, Ueber Veränderungen und Verbesserungen bei den Lührigschen Kohlenwäschen. Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Königr. Sachsen 1881, S. 123.

A. Rheingruber, Die Construction von Koksöfen. Ztschr. d. Ver. Deutsch. Ing., Bd. 19, S. 551.

J. Fulton, What is the best oven for coking coal for furnace use. Iron, vol. 13, p. 718, 745; vol. 14, p. 11.

H. Simon, On an improved Method of Utilising Byeproducts in the Manufacture of Coke. Journal of the Iron and Steel Institute, 1880, I, p. 137.

Ueber Neuerungen an Koksöfen. Dingl. Polyt. Journ., Bd. 237, S. 385, 453.

Fr. Lürmann, Ueber Entgasungsräume mit continuirlichem Betriebe. Stahl und Eisen 1882, S. 17.

Fr. Lürmann, Neuerungen an Koksöfen. Stahl und Eisen 1882, S. 240.

A. Gillon, Note sur quelques fours à coke. Rev. univ. t. 34, p. 193; Berg- u. hüttenm. Ztg. 1874, S. 241.

Th. M. Drown, The condition of sulphur in coal and its relation to coking. Transact. of the Amer. Inst. of Min. Eng. vol. 9, p. 656.

S. Jordan, Album du cours de métallurgie. Paris 1875; pl. 1—13 (Abbildungen von Verkokungsöfen).

Koksöfen zur gleichzeitigen Gewinnung von Theer und Ammoniak. Stahl und Eisen 1882, S. 310.

G. Wolf, Darstellung der Koks in Meilern auf Königshütte. Oestr. Ztschr. für Berg- und Hüttenwesen, Jahrg. 1867, S. 173.

F. Ueber Gase und Gaserzeugung.

a. Grössere Werke.

L. Ramdohr, Die Gasfeuerung. 2. Aufl. Leipzig 1881.

H. Stegmann, Gasfeuerung und Gasöfen. 2. Aufl. Berlin 1881.

F. Steinmann, Compendium der Gasfeuerung. 2. Aufl. Freiberg 1876.

F. Steinmann, Bericht über die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Gasfeuerung. Berlin 1879.

C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren. Eine einfache Methode zur Analyse derselben. Ruhrort 1876.

A. Pütsch, Ueber Gasfeuerungen. Sachliche Würdigung der in Deutschland ertheilten Patente. Berlin 1881. Sonderabdruck aus der Ztschr. d. Ver. z. Beförd. des Gewerbfleisses 1880, S. 445 (enthält eine übersichtliche, durch Abbildungen erläuterte Besprechung der neueren Generator-Constructionen).

J. Quaglio, Das Wassergas als Brennstoff der Zukunft. Wiesbaden 1880.

b. Abhandlungen.

P. Charpentier, Ersparniss an Brennmaterial durch Umwandlung der Brennstoffe in Gase und Verbrennung derselben unter constantem Volumen. Dingl. Polyt. Journ., Bd. 211, S. 421.

Thum, Gasgenerator. Berg- u. hüttenm. Ztg. 1874, S. 180; Dingl. Polyt. Journ. Bd. 213, S. 121.

B. v. Styern, Gasgeneratoren zu Falun. Berg- u. hüttenm. Ztg. 1875, S. 17.

H. Hermann, Ueber Gasgeneratoren. Ztschr. d. berg- u. hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1878, S. 284.

B. Kosmann, Einwirkung von Koksschlacken auf die feuerfesten Steine der Gasgeneratoren. Dingl. Polyt. Journ., Bd. 238, S. 345.

F. Lürmann, On gas-generating furnaces. Iron, vol. XVI, p. 204.

Thelen, Ueber den Gröbe-Lürmann-Generator. Wochenschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1879, S. 191.

A. Pütsch, Ueber die neuesten Gesichtspunkte bei Herstellung von Generatorgasen. Wochenschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1880, S. 346.

F. Lürmann, Herstellung von Generatorgasen. Wochenschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1880, S. 364.

H. Bunte, Untersuchungen über den Wassergasprocess. Deutsche Industriezeitung 1881, S. 440.

Cl. Winkler, Der „Brennstoff der Zukunft". Jahrb. für Berg- und Hüttenwesen im Königr. Sachsen 1881, S. 107.

Prof. Erhard, Ueber die Wirkung des Wasserdampfes in Generatoren. Berg- u. hüttenm. Ztg. 1881, S. 147.

Prof. v. Marx, Das Wassergas. Ztschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1882, S. 313.

A. Holley, On the use of natural gas for puddling and heating at Leechburg in Pennsylvania. Transact. of the Amer. Inst. of Min. Eng. vol. IV, p. 32; Engineering and Mining Journal vol. 22, p. 185.

Fr. C. G. Müller, Beiträge zur Charakteristik moderner Feuerungen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 395, 465.



IV. Die Oefen und feuerfesten Materialien.

1. Allgemeines. Wirkungsgrad der Oefen.

Ofen nennt man einen jeden Apparat, in welchem durch Verbrennung Wärme entwickelt wird, um durch Abgabe an andere Körper nutzbar gemacht zu werden.

Als Wirkungsgrad eines Ofens bezeichnet man das Verhältniss der in oder durch denselben wirklich nutzbar gemachten Wärme zu der Wärmeleistungsfähigkeit des für diesen Zweck verbrauchten Brennstoffes. Wenn z. B. ein Ofen den Zweck hat, Roheisen mit Koks umzuschmelzen, ohne chemische Veränderungen desselben hervorzurufen, und man per kg umzuschmelzendes Roheisen 0.12 kg Koks gebraucht, so ist die nutzbar gemachte Wärme lediglich diejenige, welche von dem flüssigen Roheisen aufgenommen war und welche sich am leichtesten durch Eingiessen einer gewissen Menge desselben in eine bestimmte Menge Wasser, dessen Temperatur vor und nach dem Eingiessen ermittelt worden war, bestimmen lässt; die Wärmeleistungsfähigkeit der Koks lässt sich annähernd mit Hilfe einer Aschenbestimmung sowie der bekannten Ziffern über die Wärmeleistungsfähigkeit der reinen Kokssubstanz (S. 85) ermitteln. Die von 1 kg flüssigen Roheisens aufgenommene Wärme betrage z. B. 250 W.-E., die Wärmeleistung von 1 kg Koks mit 10 Proc. Asche 7200 W.-E., so ist in diesem Falle der Wirkungsgrad des Ofens $\frac{250}{0.12 \times 7200} = 0.29$.

Nicht immer jedoch gestaltet sich die Ermittelung des Wirkungsgrades so einfach als in dem vorliegenden Falle. Soll der Ofen zur Durchführung chemischer Processe verwendet werden, bei denen Wärme verbraucht oder Wärme frei wird (Reduction, Oxydation), so müssen diese Wärmemengen, die sich nur durch Rechnung ermitteln lassen, gebührend berücksichtigt werden. Die zur Durchführung des Processes verbrauchte Wärme ist thatsächlich nutzbar gemacht, da eben nur mit ihrer Hilfe jener Process möglich wurde, und kommt in den Zähler des Bruches zu der wirklich aufgenommenen, messbaren Wärme; die erzeugte Wärme kommt in den Nenner.

Wenn für einen und denselben Zweck verschiedene Arten von Oefen benutzbar sind, so bildet die Vergleichung ihres Wirkungsgrades ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurtheilung ihrer verschiedenen Zweckmässigkeit.

2. Die verschiedenen Ofengattungen.

Für die Eintheilung der Oefen lassen sich verschiedene Gesichtspunkte aufstellen.

Man kann allgemein **direct wirkende Oefen,** in welchen die Wärmeübertragung durch unmittelbare Berührung zwischen den verbrennenden und den zu erhitzenden Körpern stattfindet, unterscheiden

von den **indirect wirkenden oder Gefässöfen,** bei welchen der zu erhitzende Körper in ein Gefäss (Tiegel, Kessel, Muffel) eingeschlossen und solcherart der Berührung mit den verbrennenden Körpern entzogen ist. Die Wärme muss bei dieser letzteren Gattung von Oefen durch die Wand des Gefässes hindurch transmittirt werden; die Wärmeabgabe ist sehr ungünstig, der Wirkungsgrad des Ofens niedrig, und man benutzt deshalb diese Oefen nur in solchen Fällen, wo die chemischen Einwirkungen vermieden werden sollen, welche eine Berührung der Brennstoffe oder Verbrennungserzeugnisse mit dem zu erhitzenden Körper herbeiführen könnten.

Nach der Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Brennstoffes kann man **Oefen für verkohltes, nicht flammendes Brennmaterial** und **Oefen für flammendes Brennmaterial** unterscheiden; und bei letzteren wieder Oefen mit sogenannter **directer oder Rostfeuerung,** bei welchen die zur Zersetzung und Vergasung des unverkohlten Brennstoffes wie die zur Verbrennung der bei dieser Zersetzung entstehenden brennbaren Gase erforderliche Luft gemeinschaftlich durch die Rostspalten zugeleitet wird; und **Oefen mit Gasfeuerung**, bei welchen in der früher geschilderten Weise der ursprüngliche Brennstoff zunächst in brennbare Gase verwandelt wird, welche dann erst durch getrennt zugeführte Luft verbrannt werden, so dass eine örtliche Trennung des Erzeugungsortes (Generators) von dem Verbrennungsorte (dem Ofen) möglich, wenn auch nicht immer zweckmässig ist. Die Vortheile, welche die Gasfeuerung gegenüber der directen Feuerung bietet, wurden bereits auf S. 85 besprochen.

Endlich kann man gemäss der Form der Oefen folgende Gattungen unterscheiden.

a) Schachtöfen.

Die Hauptachse derselben ist senkrecht und die Höhe mindestens gleich dem grössten Durchmesser, häufig beträchtlich grösser. Das Ofeninnere (der Schacht) besitzt cylindrische, kegelförmige oder combinirte Form, je nachdem der Zweck des Ofens diese oder jene Gestalt als die geeignetere erscheinen lässt; der Querschnitt durch den Schacht (Horizontalschnitt) ist am zweckmässigsten kreisförmig. Da der Kreis von allen Figuren den geringsten Umfang für eine gegebene Fläche besitzt, so ist auch der Wärmeverlust durch Abgabe nach aussen bei einem Schachte mit kreisförmigem Querschnitte am geringsten; und dasselbe ist hinsichtlich der Widerstände der Fall, welche durch Reibung der sich im Schachte bewegenden Körper (Gase oder feste Körper) an den Ofenwänden hervorgerufen werden und die Gleichmässigkeit der Bewegung beeinträchtigen.

Fast ausnahmslos findet die Verbrennung in dem unteren Theile des Schachtofens statt, in welchen zu diesem Zwecke Luft eingeleitet wird, sei es durch einen Rost, sei es durch seitliche Oeffnungen. Die Erzeugung des Luftzuges geschieht bei niedrigeren Oefen, oder für langsamere Verbrennungen auch in höheren Oefen (Röstöfen) durch Essenwirkung (wobei der Ofen selbst unter Umständen die Stelle der Esse vertritt), bei allen höheren Schachtöfen dagegen, in denen rasche Ver-

brennungen stattfinden sollen, die aufsteigenden Gase also auch grössere Widerstände finden, durch Gebläse.

In einigen Fällen dient Gas zur Heizung des Ofens und wird alsdann neben oder unmittelbar über der Verbrennungsluft in den Ofen geleitet, um mit derselben sich zu mischen; häufiger benutzt man feste Brennstoffe, welche in die obere Oeffnung des Ofens, die Gicht, eingeschüttet werden, so dass der Ofen bis zum Rande gefüllt ist, und nun von hier aus allmählich abwärts sinken, um die Stelle der im Verbrennungsraume vergasten Körper einzunehmen. Wollte man in dem letzteren Falle unverkohlte Brennstoffe zur Anwendung bringen, so würden ähnliche Vorgänge wie in einem Gasgenerator bei Vergasung solcher Brennstoffe entstehen: in dem oberen Theile des Ofens würde eine Entgasung stattfinden und unten würden sich nur entgaste, d. h. verkohlte Brennstoffe vorfinden. Der Vorgang der Entgasung aber würde — in den meisten Fällen wenigstens — nicht allein nutzlos für den Zweck des Ofens sein, sondern durch den dabei nothwendigen Wärmeverbrauch sogar jenen Zweck schädigen können; wollte man backende Steinkohlen anwenden, so würden sie zusammenfritten und Verstopfungen des Schachtes herbeiführen. Deshalb ist es Regel, für den Betrieb der Schachtöfen verkohlte Brennstoffe zu verwenden; unverkohlte, nicht backende, Materialien finden jedoch ausnahmsweise Verwendung, sofern die Eigenthümlichkeit des durchzuführenden Processes oder der zur Verwendung stehenden Brennstoffe (Braunkohlen, langflammige, unverkokbare Steinkohlen, Anthracite) diese Verwendung zu rechtfertigen vermögen.

Benutzt man den Schachtofen als Gefässofen (Tiegelschmelzofen), so befindet sich das Gefäss (der Tiegel) in dem unteren Theile des Ofens unmittelbar über dem Verbrennungsraume, also da, wo die höchste Temperatur herrscht; bei direct wirkenden Schachtöfen werden die zu erhitzenden Körper in die Gicht eingebracht, um von hier allmählich sich abwärts zu bewegen in dem Maasse, wie in dem unteren Theile des Ofens eine Entfernung der erhitzten Körper aus dem Ofen bewirkt wird. Es kann auf diese Weise ein ununterbrochener regelmässiger Betrieb eines solchen direct wirkenden Schachtofens aufrecht erhalten werden, indem man in angemessenen Zeiträumen unten die erhitzten Körper entfernt, beziehentlich abfliessen lässt, und oben frische nachfüllt.

In allen Fällen steigen die im unteren Theile des Ofens gebildeten Verbrennungsgase aufwärts, um aus der Gicht zu entweichen. Bei einem direct wirkenden Schachtofen (auch bei einem mit festen Brennstoffen geheizten Tiegelofen), besitzen sie also die entgegengesetzte Bewegungsrichtung als die niederrückenden festen Körper; und dieser Umstand ist von grosser Wichtigkeit für die Ausnutzung der Wärme im Ofen. Es findet dadurch eine ausgedehnte Berührung der wärmeabgebenden Körper (Gase) wie der zu erhitzenden Materialien und somit eine beförderte Wärmeabgabe an die letzteren statt; gerade die entgegengesetzte Bewegung beider (Gegenstromprincip) ist aber hierbei ausserordentlich förderlich, wie auf S. 26 ausführlich erörtert wurde. Die niederrückenden Körper nehmen, je länger sie im Ofen verweilen und je weiter sie nach unten gelangen, um so mehr Wärme auf und führen dieselben wieder nach unten. Die Brennstoffe gelangen also schon

hoch erhitzt in den Verbrennungsraum und die von ihnen mitgebrachte Wärme wird hier wieder nutzbar gemacht; sie ersetzt demnach eine äquivalente Menge Brennstoff, ohne dass die Menge der Verbrennungsgase sich mehrt. Es entsteht eine höhere Verbrennungstemperatur und eine erleichterte Wärmeabgabe, wie es früher ausführlicher geschildert wurde. Auch die durch Erhitzung zu verarbeitenden Substanzen (Erze, Metalle) werden in dem direct wirkenden Schachtofen bei ihrem Niedergange allmählich erhitzt, indem sie mit immer heisseren Gasen in Berührung treten; bedeutend vorgewärmt gelangen sie schliesslich in den unteren Raum und bedürfen hier nur noch einer verhältnissmässig unbedeutenden Aufnahme von Wärme, um auf die erforderliche Endtemperatur erhitzt zu werden.

Je grösser der Rauminhalt des Schachtofens im Verhältnisse zu der Menge der per Zeiteinheit niederrückenden Körper, beziehentlich aufsteigenden Gase ist, je länger also die gegenseitige Berührung stattfindet, desto abgekühlter werden im Allgemeinen die Gase den Ofen verlassen, desto günstiger wird die Wärmeausnutzung in demselben sein.[1])

Diese ausgedehnte Wärmezurückführung durch die niederrückenden festen Körper erhebt den direct wirkenden Schachtofen zu dem vollkommensten aller Erhitzungsapparate, sofern die Eigenthümlichkeiten des durchzuführenden Processes seine Anwendung gestatten. Werden chemische Einwirkungen zwischen den aufsteigenden Gasen und den niederrückenden Körpern beabsichtigt (z. B. Reduction durch Kohlenoxyd), so giebt auch hierzu die lange ausgedehnte gegenseitige Berührung eine ausgiebige Gelegenheit.

Der Wirkungsgrad der direct wirkenden Schachtöfen pflegt sich auf mindestens 0.30, mitunter erheblich günstiger zu beziffern. Weit niedriger dagegen ist der Wirkungsgrad der Tiegelschachtöfen. Einestheils fällt hier jene Vorwärmung des zu schmelzenden Metalls beim Niederrücken fort; anderntheils ist die Wärmeübertragung erheblich schwieriger. Selten daher erhält man beim Tiegelschmelzofen im Schachtofen einen höheren Wirkungsgrad als 0.04; häufig einen niedrigeren.

b) Herde oder Feuer.

Niedrige, oben offene, gruben- oder kastenförmige Räume, in welchen der Körper gewöhnlich in directer Berührung mit den verkohlten Brennstoffen erwärmt wird. Die Luftzuführung, welche fast stets mit Hilfe eines Gebläses bewirkt wird, geschieht entweder von unten her oder auch über den Rand des Feuers hinweg durch eine

---

1) Neben dem Rauminhalte des Ofens beeinflussen auch die specifische Wärme, Wärmeleitungsfähigkeit, Stückgrösse u. s. w. der sich begegnenden Körper die Wärmeabgabe; es kommt ferner in Betracht, dass mit der Höhe des Schachtofens auch die Widerstände zunehmen, welche sich dem Aufsteigen des Gasstromes entgegensetzen, während mit dem zunehmenden Durchmesser die Gleichmässigkeit der Vertheilung der Gase in dem Ofenquerschnitte abnimmt; und es erklärt sich hieraus, dass die zulässige Grenze für den Rauminhalt des Ofens von den jedesmaligen Verhältnissen abhängig sein muss.

abwärts geneigte Düse.[1]) In gewisser Beziehung können demnach die Feuer als sehr niedrige Schachtöfen betrachtet werden; aber während die Schachtöfen, wie erwähnt, die vollkommenste Form aller Erhitzungsapparate bilden, gehören die Feuer zu den allerunvollkommensten. Bei der geringen Höhe derselben ist die gegenseitige Einwirkung der wärmeabgebenden Gase und wärmeaufnehmenden Körper eine sehr beschränkte; bei dem geringen Rauminhalte der Feuer überhaupt ist das Verhältniss ihrer wärmedurchlassenden Aussenfläche zu ihrem nutzbaren Innern ein beträchtliches. Ihr Wirkungsgrad ist daher selten höher als 0.05.

Man pflegt die Feuer nur dann zu benutzen, wenn so kleine Mengen von Erzen, Metallen oder sonstigen Substanzen mit einem Male verarbeitet werden sollen, dass aus diesem Grunde die Anwendung eines grösseren, vollkommneren Ofens nicht thunlich erscheint.

c) Flammöfen.

Die Erhitzung in denselben geschieht in allen Fällen durch Berührung einer gebildeten Flamme mit den betreffenden Körpern oder den dieselben enthaltenden Gefässen; die Hauptachse dieser Oefen aber ist, abweichend von den Schachtöfen mit Gasfeuerung, horizontal oder geneigt, häufig auch mehr oder weniger gekrümmt oder gebrochen. Der ganze Ofen kann als ein in horizontaler oder geneigter Richtung sich fortziehender Kanal betrachtet werden, innerhalb dessen sich die zu erhitzenden Körper befinden. In den für metallurgische Zwecke bestimmten Oefen pflegt man zur Aufnahme jener Körper innerhalb des erwähnten Feuerkanales eine Erweiterung mit ebener, geneigter oder muldenförmiger Sohle, den Herd des Ofens anzuordnen und nennt in diesem Falle den Ofen insbesondere Herdflammofen.[2])

Der zum Betriebe des Ofens erforderliche Luftzug wird, da die zu überwindenden Widerstände niemals sehr bedeutend sind, fast immer durch die Wirkung einer Esse hervorgebracht.

Es folgt aus dieser allgemeinen Schilderung eines Flammofens, dass eine Bewegung der zu erhitzenden Körper dem Gasstrome entgegen, welche im Schachtofen so ausserordentlich günstig auf die Leistung desselben wirkt, hier gar nicht oder in nur sehr untergeordnetem Maasse zu erreichen ist. Die Körper befinden sich von Anfang an in dem heissesten Theile des Ofens, den die Gase im noch hocherhitzten Zustande und ohne wieder mit jenen Körpern in Berührung zu treten, verlassen; die Gase nehmen demgemäss einen sehr grossen Theil der überhaupt entwickelten Wärme mit fort, und diese grosse Menge austretender Wärme lässt sich für den eigentlichen Zweck des Flammofens nur dann theilweise wieder nutzbar machen, wenn man sie zur Erhitzung der zuströmenden Verbrennungsluft beziehentlich — bei Gasfeuerung — der als Brennstoff dienenden Gase benutzt und solcherart wieder in den Ofen zurückführt.

---

1) Das bekannteste solcher Feuer ist das in jeder Schmiedewerkstatt sich findende Schmiedefeuer.

2) Flammöfen ohne Herd sind z. B. Dampfkesselöfen, Kessel zum Schmelzen von Blei u. s. w., Ringöfen zum Brennen von Kalk; u. a. m.

Herdflammöfen mit directer Fcuerung.

Bei denselben liegt naturgemäss der Rost unmittelbar hinter dem Herde, auf welchem die grösste Wärmeentwickelung stattfinden soll. Fig. 17 und 18 zeigen schematisch die innere Einrichtung eines solchen Herdflammofens. *a* ist der Rost, welcher gemäss der Beschaffenheit des Brennmateriales als Planrost, Treppenrost u. s. w. eingerichtet sein kann. a_1 ist die Einschüttöffnung für den Brennstoff. *c* ist der Herd, dem man für Processe, bei denen eine Schmelzung nicht eintritt (Schweissöfen, Glühöfen), die Form einer horizontalen oder geneigten Ebene (wie in der Abbildung), bei Schmelzprocessen die Form einer Mulde zu geben pflegt. Zwischen Rostfläche und Herdfläche muss ein gewisses Verhältniss bestehen, abhängig von der Beschaffenheit des Brennstoffes und der auf dem Herde hervorzurufenden Temperatur.

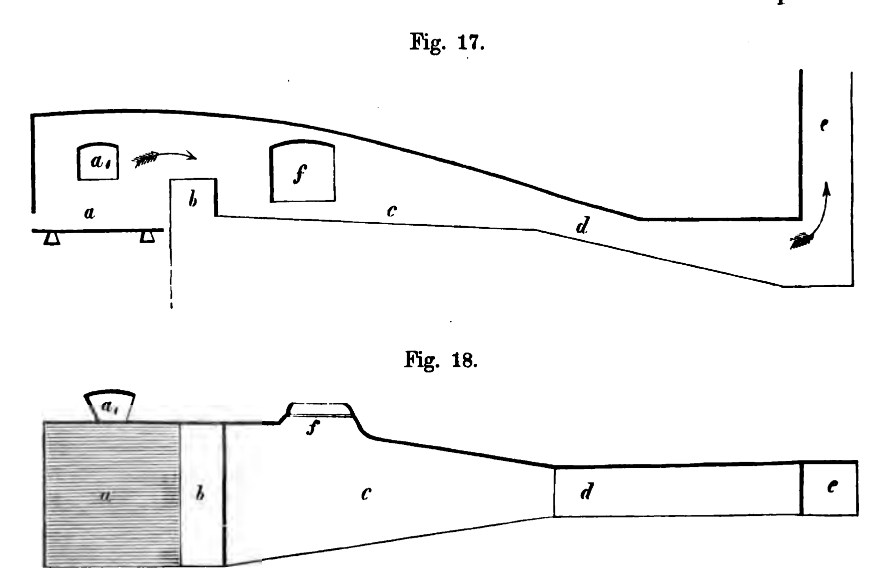


Fig. 17.

Fig. 18.

Bei den in der Eisenindustrie zur Anwendung kommenden Flammöfen pflegt jenes Verhältniss nicht kleiner als 1 : 4 und selten grösser als 1 : 2 zu sein. Die Länge des Herdes muss sich nach der Länge der Flamme richten, darf aber auch bei langflammigen Brennstoffen, sofern eine gleichmässig hohe Temperatur erreicht werden soll, nicht über 4 m betragen, während in Fällen, wo dieser Bedingung nicht genügt zu werden braucht, Herdlängen bis zu 8 m zur Anwendung kommen.

Die Grenze zwischen Feuerungsraum und Herd wird durch die Feuerbrücke *b* gebildet. Die Länge derselben (in der Breitenrichtung des Ofens gemessen) ist gleich der Breite des Rostes, und es stimmt hiermit auch die grösste Breite des Herdes überein. Unzweckmässig würde es sein, dem Herde eine grössere Breite durch Ausbauchung zu geben, wenn nicht ganz besondere Gründe eine solche Form nothwendig machen.

Je höher die Oberkante der Feuerbrücke über dem Roste liegt, eine desto höhere Schüttung kann man auf dem letzteren halten, desto geringer ist die Menge des mit den Gasen vom Roste aufsteigenden freien Sauerstoffes, desto stärker schmauchend, reducirend die Flamme, aber desto geringer auch ihre Wärmeentwickelung und die erzeugte Temperatur. Wo also Oxydation der auf dem Herde befindlichen Körper nach Möglichkeit vermieden werden soll und eine hohe Temperatur nicht erforderlich ist (z. B. bei Glühöfen für Bleche u. s. w.), wird man jene Abmessung gross nehmen (bis 1 m), will man hohe Temperaturen mit oxydirender Flamme hervorrufen, so geht man damit wohl bis auf 0.3 m herunter.

Für die auf dem Herde befindlichen Körper bildet die Feuerbrücke einen Schutz sowohl gegen das Herunterfallen auf den Rost als auch gegen die unmittelbare Einwirkung der Flamme. Je höher die Feuerbrücke über die Herdoberfläche emporragt, desto mehr sind zwar die dahinter liegenden Körper vor den chemischen Einwirkungen der Flamme geschützt, aber desto mehr sind sie auch der Wärmeabgabe entzogen, desto schwieriger ist ihre Erhitzung. Deshalb findet man auch hinsichtlich dieser Abmessung Schwankungen von wenigen Centimetern bis zu 0.5 m, je nachdem eine starke Erhitzung oder eine möglichste Vermeidung der Oxydation der Hauptzweck ist.

Der freie Ofenquerschnitt oberhalb der Feuerbrücke, durch welchen die verbrennenden Gase auf den Herd gelangen, heisst das Flammenloch. Die Grösse desselben ist das Product aus der Breite des Ofens an dieser Stelle (Länge der Feuerbrücke), welche in Rücksicht auf die erforderliche Bedienung des Rostes selten grösser als 1.5 m ist, und der Höhe der Ofendecke über der Oberkante der Feuerbrücke. Letztere Abmessung muss sich zum grossen Theile nach dem Zwecke des Ofens richten, insbesondere auch nach der Grösse der auf den Herd zu bringenden Stücke. Je kleiner diese Abmessung sein kann, desto stärker wird begreiflicherweise die Erhitzung des Herdes und desto günstiger die Wärmeabgabe ausfallen. Bei den meisten Oefen pflegt die Grösse des Flammenloches zwischen 0.3—0.7 der Grösse der totalen Rostfläche zu betragen.

Je weiter sich die Flamme von ihrer Wurzel, d. i. dem Roste, entfernt, desto mehr häufen sich in ihr die Verbrennungsgase, die noch übrig gebliebenen unverbrannten Gase verdünnend, und desto mehr Wärme wird allmählich der Flamme durch die Ofenwände wie durch die auf dem Herde befindlichen Körper entzogen. Wollte man einen Flammofen bauen, dessen Querschnitt von der Feuerbrücke an bis zum Ende des Herdes gleich gross bliebe, so würde infolge jener Umstände die Temperatur sich mehr und mehr verringern und eine sehr unvollständige Verbrennung eintreten. Damit diese Uebelstände vermieden werden, muss der Querschnitt des Ofens oberhalb des Herdes von der Feuerbrücke an stetig abnehmen; die Gase erhalten dadurch eine zunehmend beschleunigte Bewegung, ihre Abkühlung wird verringert. Am vollkommensten erreicht man diesen Zweck, wenn man die Decke des Ofens mehr und mehr der Herdsohle sich nähern lässt und zugleich, wie in der Abbildung, dem Grundrisse des Herdes Trapezform giebt. Letzteres ist nun freilich in Rücksicht auf den Zweck des Ofens nicht

immer möglich; man ist vielfach gezwungen, eine rechteckige oder unregelmässige Grundform anzuwenden, wird dann aber um so mehr darnach trachten, durch starke Näherung der Decke gegen den Boden jener Bedingung Rechnung zu tragen.

Die Ofendecke pflegt aus einem Gewölbe zu bestehen, dessen erzeugende Linien parallel der Ofenachse liegen. Von diesem Gewölbe aus wird ein Theil der von der Flamme ausgesandten Wärmestrahlen auf den Herd zurückgestrahlt, und in Rücksicht auf diesen Vorgang, dem man in früherer Zeit eine jedenfalls übertriebene Bedeutung beilegte, pflegte man diese Oefen mit der auch jetzt mitunter noch angewendeten Bezeichnung „Reverberiröfen“ (Rückstrahlungsöfen) zu benennen. Je stärker gewölbt die Decke ist, desto mehr wird die Wirkung jener Strahlung auf die Mitte des Ofens concentrirt werden, desto ungleichmässiger wird die Erwärmung des Herdes ausfallen.

An einer dem Zwecke des Ofens entsprechenden Stelle befindet sich die Einsetzöffnung *f*, welche durch eine, gewöhnlich zum Aufziehen eingerichtete, eiserne Thür mit feuerfestem Futter an der Innenseite geschlossen gehalten wird.

An dem Ende des Herdes erreicht nun jene nothwendige Abnahme des Ofenquerschnittes ihren höchsten Grad; die Gase treten hier in einen stark verengten Kanal *d* ein, welcher sie aus dem Ofen entführt und der Fuchs genannt wird. Für die Aufrechterhaltung einer hohen und gleichmässigen Temperatur im Ofen ist ein geringer Querschnitt des Fuchses von Wichtigkeit und man pflegt dafür häufig nicht mehr als $^1/_{10}$, höchstens $^1/_6$ der totalen Rostfläche zu rechnen. Je enger aber der Fuchs ist, desto grösser sind die Widerstände, welche die Gase in demselben finden, desto grösser muss also auch die Zugwirkung der Esse sein, welche schliesslich die Gase aufnimmt. Ist der Fuchskanal lang, so empfiehlt es sich deshalb, jene Verengung auf eine kürzere Abmessung am Ausgange des Herdes zu beschränken und von hier aus wieder eine Erweiterung eintreten zu lassen.

Um die Wirkung des Fuchses zu verstehen, braucht man sich nur die Wirkung eines oberhalb der Flamme verengten Lampencylinders zu vergegenwärtigen. Die Gase und die beigemischte Luft werden gezwungen, in stark convergirender Richtung und mit zunehmender Geschwindigkeit nach dem Fuchse hinzueilen und sich dabei innig zu mischen; die Wände des Fuchses sind bei dem raschen Hindurchströmen der Gase hoch erhitzt und wirken dadurch auch erhitzend auf die rückwärts gelegenen Theile des Ofens; alle diese Umstände vereinigen sich, die schliessliche vollständige Verbrennung der im Gasstrome noch vorhandenen unverbrannten Theilchen zu bewirken. Bei einem zu weiten Fuchse entsteht ebenso wie bei einem zu weiten Lampencylinder eine schmauchende Flamme.

Die Lage des Fuchses ist nicht immer die nämliche wie bei dem skizzirten Ofen. Mitunter, wenn man eine allzu energische Einwirkung der Gase auf den zu erhitzenden Körper vermeiden will, legt man ihn in die Decke des Ofens, so dass die Gase nach oben abziehen; in anderen Fällen führt man ihn senkrecht vom Herde aus nach unten und lässt die Gase wohl unter dem Herde zurückströmen, um diesen auch von unten zu erwärmen. Bei Oefen mit hohen Temperaturen und

ununterbrochenem Betriebe (Puddelöfen, Schweissöfen), deren Erzeugnisse mit Hilfe von Dampfkraft weiter verarbeitet werden, ist es dagegen gebräuchlich, zwischen Fuchs und Esse *e* einen Dampfkessel einzubauen, welcher durch die Wärme der abziehenden Gase (die Abhitze des Ofens) geheizt wird. Statt jedem Ofen eine eigene Esse zu geben, pflegt man in solchen Fällen eine gemeinschaftliche Centralesse für eine grössere Zahl von Oefen und Kesseln anzulegen, welcher die Gase durch unterirdische Kanäle zugeführt werden. Ebenso kann man zwei oder noch mehr Oefen um einen gemeinschaftlichen Dampfkessel gruppiren, indem man ihre Gase sich vereinigen lässt. Während für die Esse eines einzelnen Ofens ohne eingebauten Dampfkessel häufig schon eine Höhe von 15—20 m vollständig ausreicht, pflegt man solchen Centralessen Höhen von mindestens 40—50 m zu geben, den Querschnitt derselben aber derartig zu bemessen, dass die Gase innerhalb der Esse sich mit mindestens 2 m Geschwindigkeit fortbewegen, und dass diese Geschwindigkeit auch dann nicht unterschritten wird, wenn einige der Oefen kalt liegen sollten.[1]) Für die Wirkung einer solchen Centralesse ist es von Wichtigkeit, dass die eintretenden Gasströme in paralleler Richtung in dieselben gelangen, damit nicht durch den Stoss der auf einander treffenden Gase eine Stauung eintrete. Wo also Kanäle von verschiedenen Richtungen einmünden, scheidet man sie durch eine in die Esse eingebaute senkrechte Zwischenwand von solcher Höhe, dass sie eine gleichmässige aufwärts gerichtete Bewegung erlangt haben, ehe die Vereinigung stattfindet.

Eine Zurückführung der abziehenden Wärme durch Vorwärmung der Verbrennungsluft findet bei diesen Flammöfen selten statt; wohl aber führt man die Luft mitunter durch Kanäle im Mauerwerk des Ofens, um sie vorzuwärmen und letzteres zu kühlen. Natürlich muss, wenn der Zweck der Vorwärmung erreicht werden soll, der Aschenfall geschlossen gehalten werden, damit nicht von aussen her kalte Luft zutrete.

Anwendung von Unterwind (eines bei geschlossenem Aschenfalle unter den Rost geleiteten, durch ein Gebläse erzeugten Windstromes) statt des Essenzuges ist bei diesen Oefen ziemlich selten. Zwar ist verschiedentlich nachgewiesen worden, dass der für die vollständige Verbrennung erforderliche Luftüberschuss bei Unterwind geringer zu sein braucht als bei Essenzug, man also leichter höhere Temperaturen erzielt und thatsächlich mit geringerem Brennstoffaufwande arbeitet; diesem Vortheile stehen aber verschiedene Nachtheile gegenüber. Hierher gehören u. a. der erforderliche Arbeitsaufwand für den Betrieb des Gebläses, die schwierigere Bedienung des Rostes und eine stärkere Oxydationswirkung der erzeugten Flamme, welche nur in seltenen Fällen

---

1) Die Geschwindigkeit der Gase ergiebt sich bei gegebenem Durchgangsquerschnitte aus der Menge des in der Zeiteinheit verbrannten Brennstoffes und ihrer Temperatur. Unter Berücksichtigung des für die vollständige Verbrennung unvermeidlichen Luftüberschusses liefert 1 kg Steinkohle ca. 17 cbm, 1 kg Braunkohle ca. 15 cbm Verbrennungsproducte von Null Grad Temperatur. Die Gase werden in den meisten Fällen mit einer Temperatur von 250—300° C. in die Esse eintreten, wobei ihr Rauminhalt sich gemäss der bekannten Formel $V_1 = V\,(1 + 0.00366\,t)$ vergrössert.

erwünscht ist, beim Erhitzen von Metall dagegen zu stärkeren Verlusten (Abbrand) Veranlassung giebt.

Herdflammöfen mit Gasfeuerung.

Wie schon früher erwähnt wurde, verdanken wir die ersten mit Erfolg gekrönten Versuche, Gase zum Heizen metallurgischer Oefen zu benutzen und eigens für diesen Zweck darzustellen, dem Würtemberger Faber du Faur in den dreissiger und vierziger Jahren dieses Jahrhunderts. Ziemlich lange dauerte es jedoch, bis die Einrichtungen für diesen Zweck zu einer solchen Vollkommenheit ausgebildet waren, dass die Gasfeuerung nicht mehr auf vereinzelte Fälle beschränkt blieb, wo örtliche Verhältnisse ihre Anwendung besonders empfahlen, sondern ebenbürtig überall neben der directen Feuerung auftreten und diese, wie es in der Neuzeit mehr und mehr geschieht, verdrängen konnte.

Die bereits oben erörterte Thatsache, dass Gase leichter und mit geringerem Luftüberschusse als feste Brennstoffe zu verbrennen sind, gab zunächst häufige Veranlassung, Gasfeuerung da anzuwenden, wo geringwerthigere Brennstoffe — Holz, Torf, Braunkohlen — zur Verwendung standen, welche bei der Verbrennung auf dem Roste nicht gut geeignet sind, hohe Verbrennungstemperaturen zu erzeugen; diese älteren Gasflammöfen, welche in den österreichischen Alpenländern, am Harze, in Schweden u. a. a. O. eine ziemliche Ausbreitung fanden und zum Theil noch existiren, wurden grösstentheils mit Hilfe eines Gebläses betrieben, indem man sowohl die Vergasung als die Verbrennung durch einen zugeführten Luftstrom bewirkte. Es ist unläugbar, dass Gebläsewind, zumal wenn er, in feine Strahlen vertheilt, in das Gas geführt wird, die rasche und vollständige Verbrennung desselben sehr erleichtert; und indem man in jenen älteren Oefen den zur Verbrennung bestimmten Wind (Oberwind) in besonderen, durch die Abhitze des Ofens geheizten Röhren auf mehrere Hundert Grad C. erhitzte, also zur Wärmezurückführung benutzte, ermöglichte man es, auch mit Gasen aus geringwerthigeren Brennstoffen — zumal, wenn sie einem vorausgehenden Darrprocesse unterworfen wurden — Temperaturen hervorzurufen, welche bei Rostfeuerung unmöglich erreichbar gewesen sein würden.

Die Anwendung eines Gebläses aber macht die ganze Anlage schwerfällig und ruft, wie schon bei den Oefen mit directer Feuerung erwähnt wurde, gar leicht stark oxydirende Wirkungen hervor; die erforderlichen umfänglichen Darrvorrichtungen für Holz, Torf u. s. w. machten die ganze Anlage ausserordentlich kostspielig. Bei allen neueren Herdflammöfen mit Gasfeuerung pflegt man deshalb sowohl die für die Erzeugung als für die Verbrennung des Gases erforderliche Luft mit Hilfe der einfacheren Wirkung einer Esse (gewöhnlich einer für zahlreiche Oefen gemeinschaftlichen Centralesse, wie oben besprochen) zuzuführen. Wo es angeht, benutzt man schon für die Gaserzeugung Materialien, die ein wasserärmeres Gas liefern (Steinkohlen), wo aber geringwerthigere Brennstoffe benutzt werden müssen, befreit man häufig

das Gas durch eine in die Leitung eingeschaltete Condensationsvorrichtung, wie oben beschrieben wurde, von seinem Wassergehalte.

Von Wichtigkeit ist bei diesen Gasöfen mit natürlichem Luftzuge wie überhaupt bei jeder Gasfeuerung die Art und Weise, wie Gas und Luft mit einander gemischt werden und wie der Verbrennungsraum beschaffen ist. Wie schon mehrfach betont wurde, wird die Verbrennung durch hohe Temperatur und ausgedehnte gegenseitige Berührungsfläche — also innige Mischung — von Gas und Luft erleichtert.

Der Raum, in welchem beide Körper sich vereinigen, muss daher von schlechten Wärmeleitern — feuerfesten Steinen — eingeschlossen sein; bleibt der zu heizende Apparat selbst verhältnissmässig kühl (Dampfkessel, Winderhitzungsapparat aus eisernen Röhren), so ist es aus diesem Grunde rathsam, vor demselben eine sogenannte Verbrennungskammer aus feuerfesten Steinen anzuordnen, in welcher die Mischung und Verbrennung stattfindet, und aus welcher nunmehr die Gase erst durch Schlitze oder Oeffnungen an den Ort ihrer Verwendung geführt werden.

Die Mischung erfolgt leichter, wenn Gas und Luft unter einem Winkel, welcher bis 90 Grad betragen kann, als wenn sie in paralleler Richtung auf einander treffen; leichter wenn beide Ströme verschiedene, als wenn sie gleiche Geschwindigkeit besitzen. Dieser Umstand erklärt auch die schon oben berührte Thatsache, dass Gebläsewind, welcher mit grosser Geschwindigkeit in das Gas geführt werden kann, die Verbrennung befördert.

Je rascher die Verbrennung erfolgt, desto kürzer wird natürlich die Flamme werden, desto höher wird die Temperatur innerhalb des Verbrennungsraumes steigen, desto rascher wird sie aber auch abnehmen oder, mit anderen Worten, auf eine desto geringere Ausdehnung wird diese hohe Temperatur beschränkt bleiben. Eine Grenze ist allerdings dieser Concentration der Verbrennung durch die Dissociation der Kohlensäure und des Wasserdampfes gesetzt. Sobald die Dissociationstemperatur überschritten ist, kann eben die chemische Vereinigung der brennbaren Gase mit dem Sauerstoffe der Luft nicht mehr erfolgen; das Gemisch zieht unverbrannt weiter, bis durch die unausgesetzt stattfindende Wärmeabgabe Abkühlung eingetreten ist; nun erfolgt chemische Vereinigung und neue Wärmeerzeugung u. s. f.

Um also kurze Flammen zu erzeugen, soweit es in Rücksicht auf den soeben geschilderten Vorgang möglich ist, wird man Gas und Luft unter verschiedenen Richtungen und mit verschiedener Geschwindigkeit auf einander treffen lassen; oder man wird, wo es angeht, eine grössere Zahl einzelner Ströme bilden und dieselben nebeneinander, aber in abwechselnder Reihenfolge, in den Verbrennungsraum eintreten lassen, so dass immer ein Gasstrom zwischen zwei Luftströmen sich befindet.

Zur Hervorbringung einer langen Flamme wird man die Ströme parallel neben oder über einander einführen.

In Folgendem sollen einige der wichtigsten Gasfeuerungen eingehender besprochen werden.

Siemens'sche oder Regenerativ-Feuerung. Dieses im Jahre 1861 durch W. Siemens in London und Fr. Siemens in Dresden in die Praxis eingeführte Feuerungssystem war es hauptsächlich, welches die älteren bis dahin üblichen, oben beschriebenen Gasöfen verdrängte und der Gasfeuerung überhaupt in verhältnissmässig kurzer Zeit eine erheblich ausgedehntere Verwendung verschaffte. Die Einrichtung eines Siemensofens ist im Wesentlichen folgende.

An jeder Seite des Ofens liegen, tiefer als dieser und mitunter in den Erdboden unterhalb des Ofens eingebaut, ein Paar Kammern, aus feuerfestem Materiale hergestellt und mit feuerfesten Ziegeln in solcher Weise ausgesetzt, dass ohne Behinderung des Durchzuges der Gase eine grosse Oberfläche dargeboten wird. Diese Kammern werden — freilich nicht gerade zutreffend — Regeneratoren genannt; in Wirklichkeit sind sie Wärmespeicher, dazu bestimmt, die Abhitze des Ofens in möglichst umfänglicher Weise aufzunehmen. Gas und Luft steigen, ehe sie in den Ofen gelangen, getrennt in je einer dieser Kammern empor und mischen sich oberhalb derselben, um hier zu verbrennen und bei ihrem Hindurchziehen durch den Ofen denselben zu erhitzen. Die noch heissen Verbrennungsgase aber entweichen durch die beiden am entgegengesetzten Ende des Ofens gelegenen Kammern, diese erwärmend, um dann nach einer gemeinschaftlichen Esse zu entweichen. Sind die zuletzt erwähnten beiden Kammern nunmehr auf eine gewisse Temperatur erhitzt, so wird mit Hilfe einer Umsteuerungsvorrichtung die Richtung des Gas- und Luftstromes umgekehrt; sie steigen jetzt durch die heissen Kammern empor, hierbei Wärme aufnehmend und dieselbe in den Ofen zurückführend. Ihre Abhitze aber dient wiederum zum Heizen der entgegengesetzten Kammern, bis diese erhitzt, die anderen um ein bestimmtes Maass abgekühlt sind; dann folgt abermalige Umsteuerung, u. s. f.

Die Abbildungen Fig. 19—24 lassen die Einrichtung eines Siemensofens erkennen.[1]) *a* ist der Herd des Ofens, hier zur Aufnahme von Tiegeln bestimmt, daher sehr kurz, und durch Scheidewände in drei Abtheilungen getheilt, wie Fig. 20 erkennen lässt. Durch Oeffnungen in der Decke des Ofens, welche durch Deckel geschlossen werden, ist der Herd von aussen zugänglich (Fig. 22); und um die Bedienung zu erleichtern, ist in diesem Falle der ganze Ofen in das Erdreich eingebaut, so dass seine Oberkante mit der Hüttensohle in einer Horizontalebene liegt. Seitlich vom Herde liegen die Regeneratoren b b_1 für Luft und c c_1 für Gas, die ganze Breite des Herdes einnehmend. Wie Fig. 22 erkennen lässt, ist der Querschnitt der Luftregeneratoren um ca. 50 Proc. grösser als derjenige der Gasregeneratoren, und man findet bei fast allen Siemensöfen ein ähnliches Verhältniss, theils weil die eintretende Luft kälter als das Gas zu sein pflegt, theils auch, weil für die vollständige Verbrennung ein Luftüberschuss nicht zu entbehren ist, während theoretisch das erforderliche Luftvolumen annähernd ebenso gross sein müsste als das Volumen der Generatorgase.

Die Gase gelangen aus dem Kanale *d*, nachdem das Ventil *v* (Fig. 19

---

1) Unter Benutzung von H. Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Braunschweig 1875, Fig. 183—188.

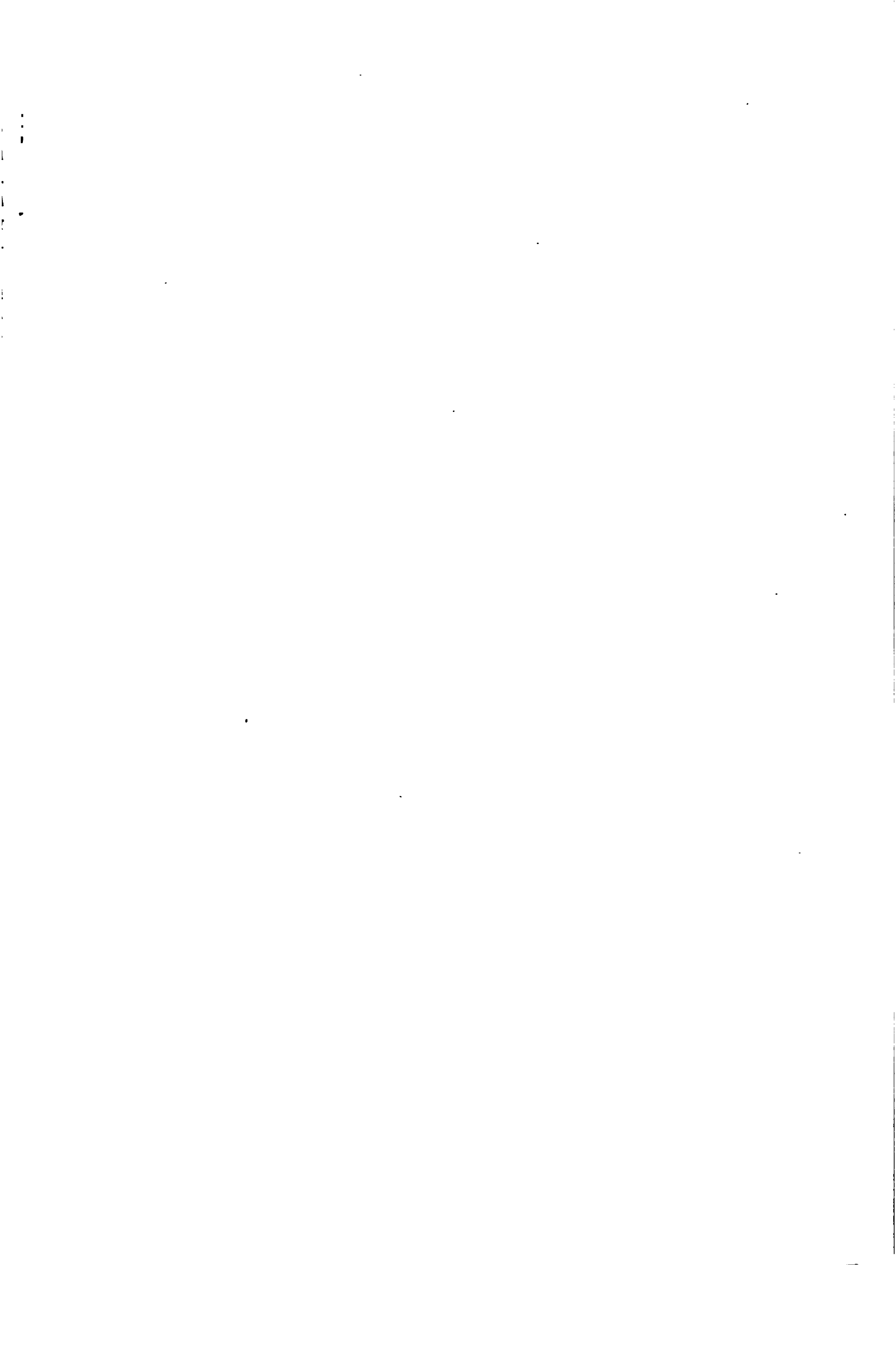


Fig. 19. Schnitt nach

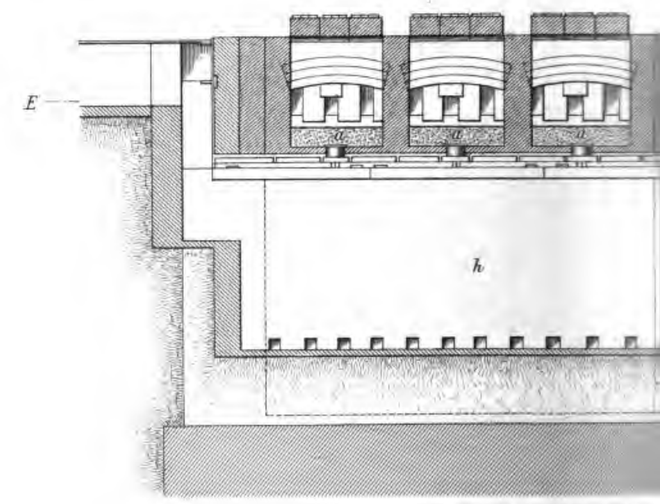
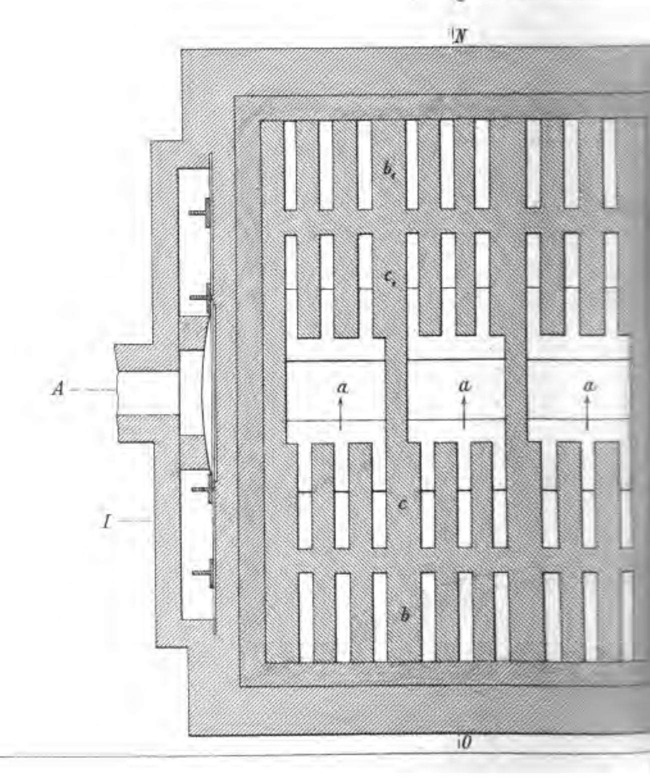
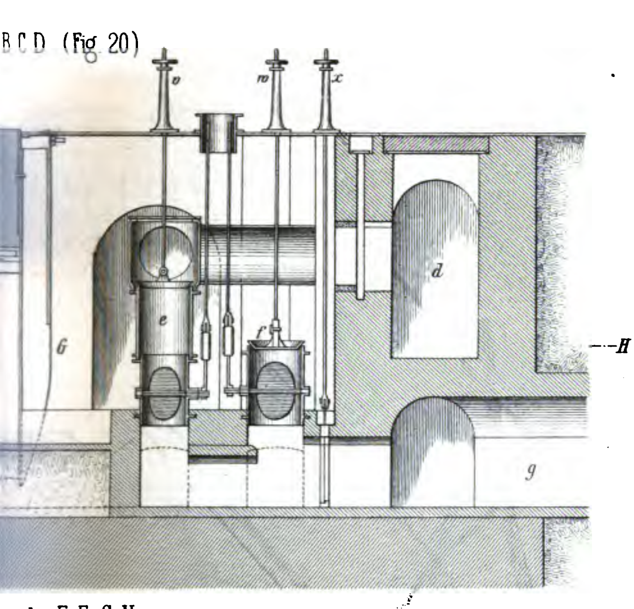


Fig. 20. Horizontalschni

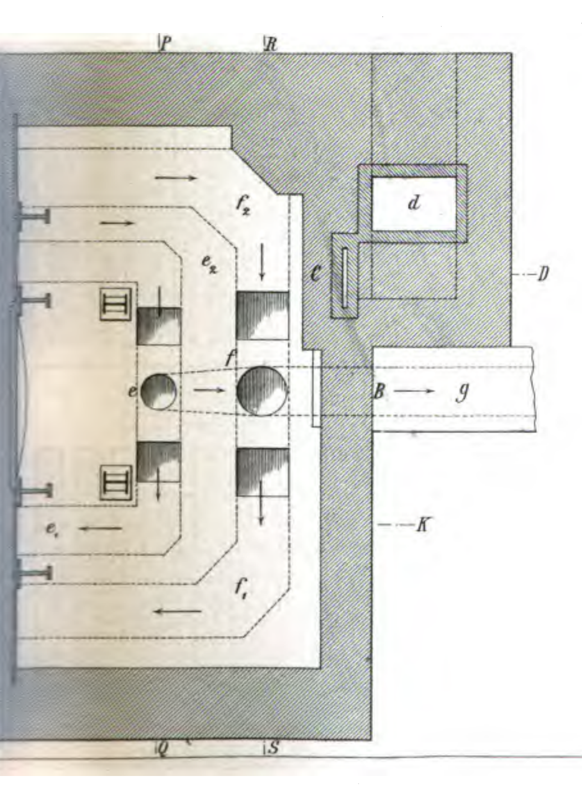


Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

B C D (Fig. 20)



nach E F. G H.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig




LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
CALIFORNIA.

Fig. 21.

Schnitt nach I-K (Fig. 20) oder L-M (Fig. 22.)

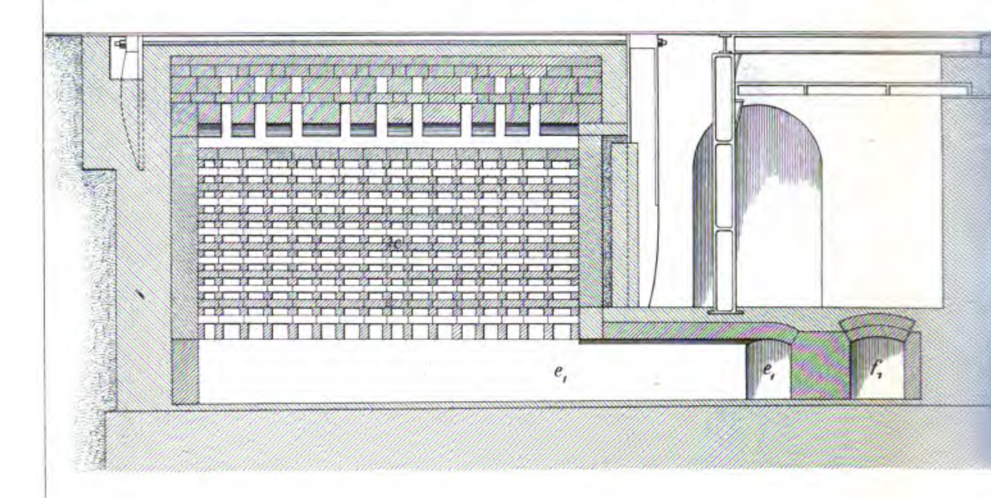
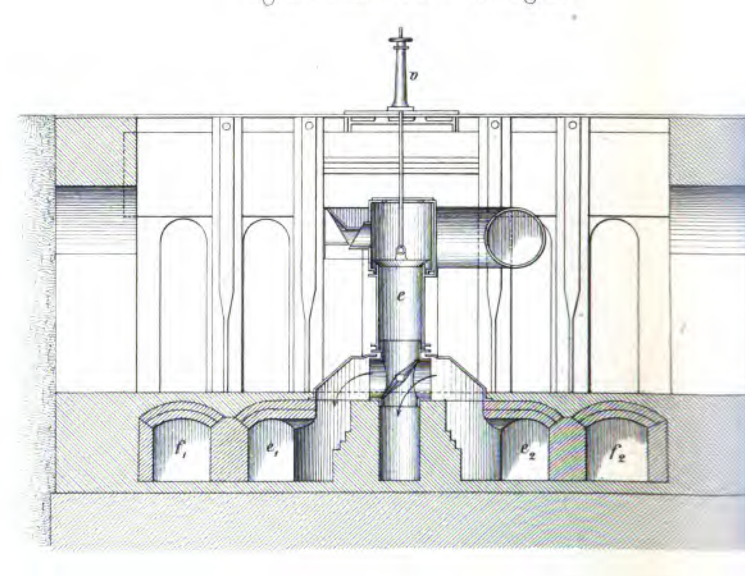


Fig. 23. Schnitt nach P-Q (Fig. 20)



Maasst

Cent. 100 50 0

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt

Fig. 22.

Querschnitt nach N-O (Fig. 20)

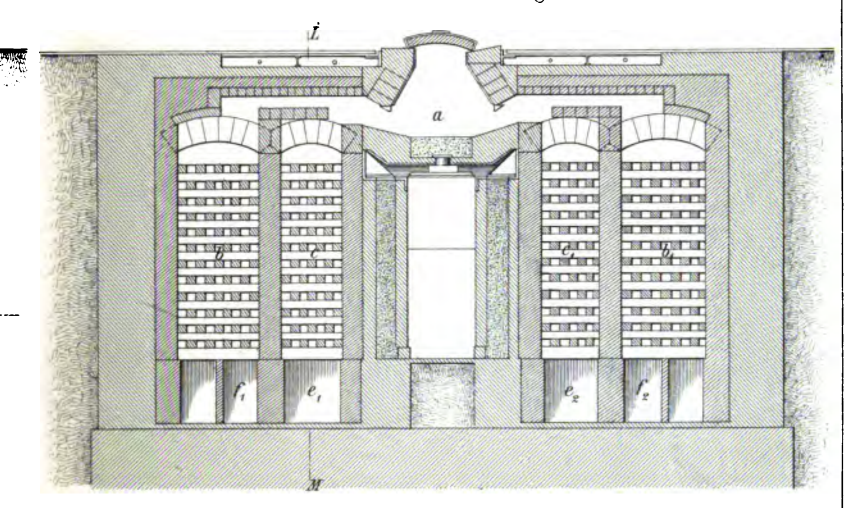
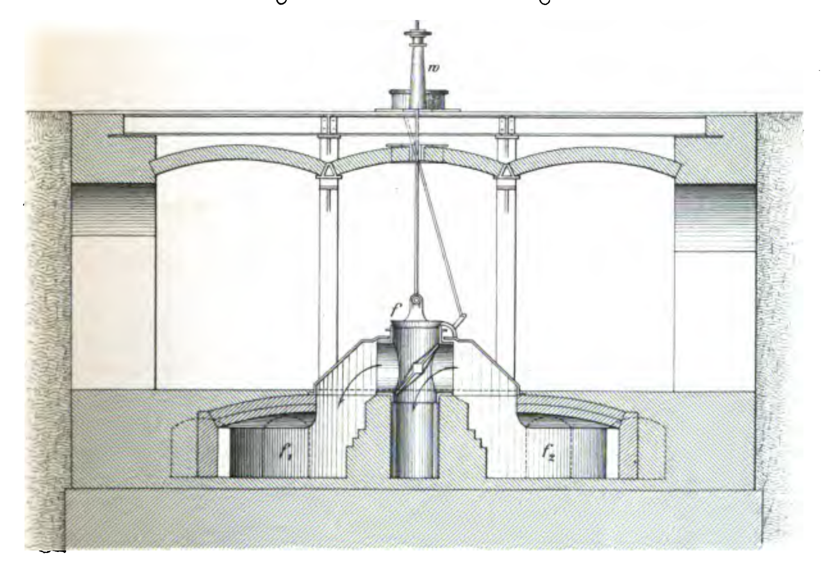


Fig. 24. Schnitt nach R-S (Fig. 20)



zu Fig 19-24.

1 2 3 Meter.

Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

und 23) geöffnet worden ist, in das mit gusseiserner Wechselklappe versehene Rohr e; die Luft tritt nach Oeffnung des Ventiles w in das ebenfalls mit Wechselklappe versehene Rohr f. Mit Hilfe der beiden Ventile lässt sich der Zufluss von Gas und Luft beliebig regeln, so dass man nach Bedarf mit reducirender wie mit oxydirender Flamme arbeiten kann. Die beiden Wechselklappen können jede eine Drehung um annähernd 90 Grad machen, wie in Fig. 23 und 24 erkennbar ist; ihre Bewegung wird durch zwei Zugstangen bewirkt, welche an mit Gegengewichten beschwerte Hebelarme auf den horizontalen Drehungsachsen der Klappen angeschlossen sind (Fig. 19), so dass es nur eines Zuges an den Stangen bedarf, um die Klappe sofort in die entgegengesetzte Stellung zu bringen.

In der Stellung, welche die Klappen in Fig. 23 und 24 einnehmen, gelangen Gas und Luft durch die Kanäle e_1 f_1 nach den Regeneratoren b c, steigen hier empor, vereinigen sich, ziehen über den Herd hinweg, fallen in die Regeneratoren b_1 c_1 und entweichen schliesslich durch die Kanäle e_2 f_2 nach dem gemeinschaftlichen Essenkanal g. Wird nun umgesteuert, so treten sie, wie bei Betrachtung von Fig. 20, 23 und 24 leicht verständlich sein wird, zunächst in die Kanäle e_2 f_2, dann in die erhitzten Regeneratoren b_1 c_1 und gelangen schliesslich durch die Kanäle c_1 f_1 ebenfalls zum Essenkanale g.

Der Kanal h unter dem Herde (Fig. 19) dient in dem vorliegenden Falle, wo der Herd sehr stark erhitzt wird, zum Hindurchleiten von Luft, welche denselben von unten zu kühlen bestimmt ist. Der Herd wird durch Eisenplatten getragen und ist aus feuerfestem Material hergestellt.

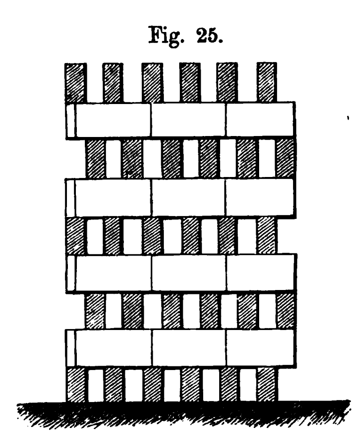
Da der Herd des abgebildeten Ofens, wie erwähnt, sehr kurz ist, muss auch, damit derselbe gehörig erhitzt werde und die Verbrennung nicht etwa erst in den jenseitigen Regeneratoren stattfinde, für eine rasche Mischung gesorgt werden. Die Decke des Ofens ist aus diesem Grunde nach dem Herde zu geneigt, so dass die unter derselben hinziehende Luft die nämliche Richtung bekommt und die aus den Regeneratoren c c_1 aufsteigenden Gase schräg gegen dieselbe treffen; um denselben diese schräge Bewegungsrichtung zu geben und ihnen zugleich eine gewisse Austrittsgeschwindigkeit zu verleihen, sind die beiden Regeneratoren, wie Fig. 22 erkennen lässt, am oberen Ende so weit geschlossen, dass nur ein schmaler Spalt für den Austritt übrig bleibt. Oberhalb der Regeneratoren ist der ganze Raum durch Mauerzungen in neun einzelne Kanäle getheilt, in denen die Mischung stattfindet und aus welchen die verbrennenden Gase unmittelbar auf den Herd gelangen (Fig. 19 und 20).

Statt der erwähnten Wechselklappen, welche den Nachtheil haben, sich leicht zu verziehen, benutzt man auch vielfach cylindrische Blechhauben, durch einen senkrechten Quersteg in zwei Hälften getheilt und auf ein senkrechtes Rohr passend, welches durch zwei, unter rechtem Winkel sich kreuzende, Stege in vier Kanäle getheilt ist, deren jeder also im Querschnitte die Form eines Viertelkreises besitzt. Zwei einander gegenüberliegende Kanäle führen nach einem rechts- und einem linksseitigen Regenerator, der dritte führt die Gase von der Leitung aus zu, der vierte, diesem gegenüberstehende, führt die verbrauchten Gase nach

der Esse. Durch Drehung der Haube um 90 Grad findet, wie leicht zu ermessen ist, Umsteuerung statt. Der Rand der Haube taucht in eine mit Wasser oder Theer gefüllte Rinne, wodurch vollständige Dichtung erzielt ist.

Die Ziegeln aus feuerfester Masse, welche den Inhalt der Regeneratoren bilden, werden in horizontalen, sich kreuzenden Lagen über einander aufgestellt (Fig. 25). Gewöhnliche prismatische Chamotteziegel, welche auf die lange Kante gestellt werden, lassen sich ganz gut dafür benutzen. Der Zwischenraum zwischen zwei benachbarten Ziegeln entspricht einer Ziegelstärke, so dass also der räumliche Inhalt des Regenerators zur Hälfte mit Ziegeln ausgefüllt ist, während die andere Hälfte für den Durchzug der Gase bleibt. Häufig stellt man, wie in der Abbildung, die Ziegel so auf, dass sie in den über einander befindlichen Reihen gegen einander versetzt sind. Die Gase werden dadurch gezwungen, in Krümmungen aufzusteigen beziehentlich sich abwärts zu bewegen, und ihr Weg wird dadurch verlängert.

Fig. 25.



Die Wirkung der Regeneratoren ist leicht verständlich. Wenn der Ofen angeheizt wird, treffen Luft und Gas im kalten Zustande auf einander. Die Verbrennung geht schwieriger von statten, die Verbrennungstemperatur ist verhältnissmässig niedrig, der Herd wird ungenügend erhitzt, zumal da erst in den Regeneratoren die Verbrennung vollendet wird. Von der abziehenden Wärme nehmen die Regeneratoren einen beträchtlichen Theil auf; immerhin geht ihre Erhitzung ziemlich langsam vorwärts, da das Gewicht der zu erhitzenden Steine wie auch ihre specifische Wärme (0.23 für höhere Temperaturen) nicht unbedeutend ist. In keinem Falle darf auch die Abkühlung der Gase so weit getrieben werden, dass die Temperatur derselben bei ihrem Eintritte in die Esse weniger als 150 Grad C. beträgt, weil sonst die Zugwirkung der Esse zu gering sein würde.

Nach einiger Zeit wird umgesteuert. Gas und Luft ziehen durch die erwärmten Regeneratoren nach dem Herde, nehmen hierbei Wärme auf und treffen demzufolge im erwärmten Zustande auf einander. Die Verbrennung geht leichter von statten, die Flamme wird kürzer, heisser, die Temperatur auf dem Herde steigt. Inzwischen werden die beiden anderen Regeneratoren erhitzt; je mehr Wärme aber in den ersten beiden bei einer gewissen Temperatur aufgespeichert war, je grösser also das Gewicht der in ihnen enthaltenen, wärmeaufnehmenden Steine ist, je länger es gewährt hatte, bis sie jene Temperatur angenommen hatten, desto langsamer wird auch diese Temperatur sich wieder verringern, während sie von Gas und Luft erhitzt werden. In jedem Falle wird aufs Neue umgesteuert, sobald eine erhebliche Abnahme der Temperatur eintritt. Die Regeneratoren nehmen frische Wärme auf und werden jetzt stärker erhitzt als zuvor, da sie ohnehin schon eine beträchtliche

Wärmemenge zurückhielten, und da die Verbrennungstemperatur der Gase, wie erwähnt, bereits gestiegen ist. Die Folge davon ist, dass auch nach abermaliger Umsteuerung Gas und Luft stärker als vorhin erhitzt werden, und dass somit auch die Verbrennungstemperatur eine neue Steigerung erfährt. Diese Steigerung würde durch wiederholte rechtzeitige Umsteuerungen bis ins Unendliche hin sich ausdehnen lassen, wenn ihr nicht theils durch die Schmelzbarkeit der Ofenbaumaterialien, theils durch den Umstand ein Ziel gesetzt wäre, dass, sobald die Dissociationsgrenze für die Verbrennungsgase (Kohlensäure und Wasser) erreicht ist, auch selbstverständlich die Temperatur nicht mehr zunehmen kann; die Flamme wird länger und die Gase treten heisser in den Schornstein. In der Wirklichkeit wird man durch entsprechende Verminderung der in bestimmter Zeit zutretenden Gas- und Luftmengen die überhaupt stattfindende Wärmeentwickelung in solcher Weise regeln, dass sie dem Wärmeverbrauche im Ofen u. s. w. entspricht, sobald die für den durchzuführenden Process erforderliche Temperatur erreicht ist, dass also von vorn herein jene übermässige Steigerung der Essentemperatur, gleichbedeutend mit Wärmeverlust, vermieden wird.

Thatsächlich lassen sich die geschilderten Vorgänge in der Praxis durch den Augenschein wahrnehmen. So lange der Ofen noch kalt ist, zeigt sich eine dunkelrothe Flamme; nach bewirkter Umsteuerung wird sie heller, weisslicher, hierauf kurz und blendend weiss; wird die Dissociationstemperatur überschritten und man verringert nun nicht die Menge des zuströmenden Gases, so wird die Flamme wieder lang, ist anscheinend aber von geringer Kraft, bläulich weiss und fliesst wolkenartig dahin.[1])

Es folgt hieraus aber, dass die Wirkung eines Siemensofens erst zur Geltung gelangen kann, wenn derselbe längere Zeit — mindestens einige Stunden — im Betriebe gewesen ist, und dass mithin ein derartiger Ofen für solche Processe ungeeignet sein würde, welche überhaupt nur zeitweise betrieben werden und dann nur kurze Zeit zu ihrer Durchführung bedürfen.

Aus der geschilderten Wirkung der Regeneratoren ergiebt sich, dass, je kleiner dieselben sind, um so öfter umgeschaltet werden muss, wenn nicht erhebliche Temperaturschwankungen eintreten sollen. Ist die mittlere Temperatur, auf welche die Regeneratoren erhitzt werden sollen, gegeben, und weiss man, wie viel der überhaupt entwickelten Wärme in den Regeneratoren aufgenommen wird (aus dem Wirkungsgrade des Ofens annäherungsweise zu ermitteln), so würde sich aus der specifischen Wärme der Ziegeln und der Wärmeleistung des Brennstoffes ermitteln lassen, wie gross das Gewicht der erforderlichen Ziegeln für jedes Kilogramm innerhalb zweier Umsteuerungen verbrannter Kohle sein muss. Gruner berechnet auf diese Weise[2]), dass bei Verwendung von Gas aus Steinkohlen, welche eine Wärmeleistung von 8000 W.-E. besitzen, und einer mittleren Temperatur der Regeneratoren

---

1) Dr. William Siemens, Einige wissenschaftlich technische Fragen der Gegenwart. Berlin 1879, S. 75.

2) Gruner-Kupelwieser, Abhandlungen über Metallurgie, S. 400.

von 575° C., die beiden, zusammen ein Paar bildenden, Regeneratoren für jedes Kilogramm innerhalb zweier Umschaltungen vergaster Kohle 50 kg Ziegeln enthalten müssen; häufig giebt man indess zur grösseren Sicherheit 60 kg und rechnet als Zeitdauer zwischen zwei Umschaltungen eine Stunde. Siemens giebt, auf Erfahrungssätzen fussend, als Regel eine erforderliche Erhitzungsfläche der Ziegeln von 1.25 bis 1.50 qm für jedes Kilogramm Kohle, was bei dem üblichen Ziegelformat (ca. 240 × 120 × 60 mm) ganz gut mit jener Rechnung übereinstimmt. Nun sind, wie oben erwähnt wurde, die Ziegeln gewöhnlich derartig angeordnet, dass sie die Hälfte des Rauminhaltes der Regeneratoren einnehmen, während die andere Hälfte für die Kanäle bleibt. Bei einem spec. Gewichte der Ziegeln = 1.80 würden also in 1 cbm Raum 900 kg Ziegeln enthalten sein, welche nach Obigem 15—18 kg innerhalb zweier Wechsel zu verbrennender Kohle entsprechen würden; oder es muss umgekehrt der Rauminhalt eines Paares Regeneratoren für jedes Kilogramm Kohle $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{18}$ cbm mit $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{36}$ cbm Ziegeln betragen. Bei stündlicher Umsteuerung würde also für die Construction eines Ofens zunächst der zu erwartende stündliche Kohlenverbrauch zu veranschlagen sein; beträgt derselbe k kg, so hätte man jedem Paare Regeneratoren einen Rauminhalt von $\frac{k}{15}$ bis $\frac{k}{18}$ cbm zu geben.

Das Verhältniss zwischen Höhe und Querschnitt der einzelnen Regeneratoren hängt zum Theil von localen Umständen und der Form des Ofens selbst ab; je grösser indessen der Querschnitt ist, desto weniger gleichförmig werden die Gase innerhalb desselben vertheilt sein. Gewöhnlich giebt man eine Höhe von 1.5—2 m, oder einen Querschnitt des Regeneratorenpaares von 0.025—0.030 qm per stündlich verbrannter Kohle. Ein Kilogramm Kohle liefert ca. 13 kg Gase, welche bei 575° C. einen Rauminhalt von ca. 30 cbm einnehmen; bei dem angegebenen Querschnitte beträgt alsdann ihre mittlere Geschwindigkeit in den Kanälen 2000—2400 m per Stunde oder 0.5—0.6 m per Secunde.

Dass der Querschnitt der zur Erhitzung der Luft bestimmten Regeneratoren etwas reichlicher bemessen werde als der Querschnitt der Gasregeneratoren, wurde bereits oben erwähnt und durch Gründe gerechtfertigt.

Ein neu zugestellter Siemensofen muss, ehe er in Betrieb genommen werden kann, zunächst vollständig durch ein auf dem Herde desselben unterhaltenes Koksfeuer, dessen Gase man durch die Regeneratoren hindurchziehen lässt, ausgetrocknet werden. Damit nicht beim Entzünden der Gase eine Explosion entstehe, ist es erforderlich, zunächst allen freien Sauerstoff aus den Kanälen zu verdrängen. Der Zweck lässt sich erreichen, indem man in einem der Generatoren mit niedriger Schüttung arbeitet, wie bei directer Feuerung, so dass die Verbrennung schon hier erfolgt und die Verbrennungsgase den Ofen anfüllen; nun steigert man die Schütthöhe, so dass brennbares Gas entsteht, welches in den bereits durch ein Feuer erhitzten Ofen eingeführt und hier durch Zuführung von Luft entzündet wird.

Zwischen den Generatoren und dem Ofen ist bei allen Siemensöfen eine längere Gasleitung eingeschaltet. Dieselbe steigt von den Generatoren an zunächst thurmartig aufwärts, zieht sich dann in Form

eines weiten Eisenblechrohres wagerecht bis zu den Oefen hin, um hier wieder senkrecht nach den Wechselklappen hin abwärts zu gehen. Werden, wie bei allen grösseren Anlagen, mehrere Oefen von einer gemeinschaftlichen Gasleitung und von gemeinschaftlichen Generatoren aus (wie in Fig. 13—15 abgebildet und auf S. 92 beschrieben wurden) gespeist, so pflegt man die Oefen in einer Reihe neben einander aufzustellen, das wagerechte Rohr parallel zu der Ofenreihe in der Höhe anzuordnen und nun nach jedem Ofen ein senkrechtes Zweigrohr hinzuführen.

Die beschriebene Einrichtung hat einen doppelten Zweck. Die aus dem Generator kommenden noch heissen Gase steigen infolge ihrer höheren Temperatur in dem senkrechten Rohre empor, werden dann beim Hindurchstreichen durch das weite wagerechte Rohr abgekühlt, verdichten sich dabei und erhalten dadurch das Bestreben, in dem zweiten senkrechten Rohre abwärts sich zu bewegen. Die Abkühlung der Gase ist nothwendig, damit sie überhaupt in die tief liegenden Regeneratoren eintreten, und die Zugwirkung der Esse wird durch diese Einrichtung verstärkt. Bei der stattfindenden Abkühlung aber werden theerige Dämpfe, welche den heissen Gasen beigemengt waren und deren Ablagerung in den Regeneratoren diese verstopfen und unbrauchbar machen würde, verdichtet und durch geeignete Vorrichtungen in dem Leitungsrohre entfernt. Dass man bei Verwendung wasserreicher Brennstoffe diese Verdichtung noch durch Einschaltung eines Condensators verstärkt, wurde schon auf S. 96 besprochen.

Durch diese Abkühlung aber geht ein nicht unbeträchtlicher Theil Wärme verloren, und dieser Verlust wird nur theilweise durch den Umstand ausgeglichen, dass eben infolge des hervorgerufenen stärkeren Luftzuges auch die Gase mit einer niedrigeren Temperatur, als es sonst der Fall sein würde, in die Esse eintreten dürfen und solcherart ihre Wärme in den Regeneratoren vollständiger abgeben können. Die Einrichtung der Siemensöfen ist, wie sich aus der Beschreibung derselben ergiebt, ziemlich complicirt, die Anlage- und Reparaturkosten (z. B. für die Reinigung der Regeneratoren bei eintretenden Verstopfungen) infolge dessen ziemlich hoch.

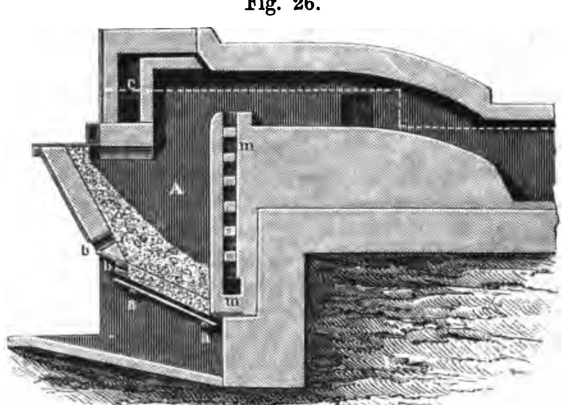
Aus diesen Gründen ist man seit Erfindung der Siemensöfen vielfach bemüht gewesen, in einfacherer Weise, aber auf ähnlichen Grundsätzen fussend, das nämliche Ziel, eine günstige Ausnutzung des Brennstoffes zu erreichen. Eine solche Vereinfachung ist möglich, wenn man, wie bei den nachfolgend beschriebenen Ofensystemen, die Gase mit der aus dem Generator mitgenommenen Wärme, also mit einer Temperatur, welche durchschnittlich 350° C. betragen dürfte, nicht selten aber noch höher ist, in den Ofen eintreten lässt und sich darauf beschränkt, die Verbrennungsluft vorzuwärmen. Da für den letzteren Zweck nur ein Theil der gesammten Abhitze erforderlich ist, so erlangt man bei einer solchen Einrichtung neben der Vereinfachung der Anlage den andern, besonders im Eisenhüttenbetriebe nicht zu unterschätzenden Vortheil, dass der übrige Theil der Abhitze noch für andere Zwecke, insbesondere auch zur Heizung von Dampfkesseln, verfügbar bleibt.

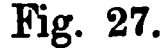
Damit die Aufgabe, die Gase noch heiss in den Ofen zu führen,

erfüllt werde, muss der Generator in unmittelbarer Nähe des Ofens liegen; und die meisten der hierher gehörigen Ofensysteme unterscheiden sich daher von den Oefen mit directer Feuerung im Wesentlichen nur durch die grössere Schütthöhe auf dem Roste, wodurch der Feuerungsraum zum Generator wird, und durch die Zuführung der erwärmten Verbrennungsluft oberhalb des Rostes.

Boëtius' Feuerung. Dieselbe, aus den sechziger Jahren stammend, und ziemlich häufig benutzt, ist in den Abbildungen Fig. 26 und 27 in etwa $\frac{1}{75}$ der wirklichen Grösse dargestellt. *A* ist der Generator, 1.8—2 m hoch, 0.9 m breit. Unten ist derselbe durch einen schräg liegenden Rost *a a*, an der Rückseite durch eine geneigte Wand be-

Fig. 26.




Fig. 27.



grenzt, deren Anordnung eine solche ist, dass zwischen ihrer Oberkante und der Rückwand des Ofens ein schmaler Spalt zum Einfüllen des Brennmateriales bleibt, welcher durch dieses selbst verschlossen gehalten wird. Oeffnungen *b b* in dieser Wand in geringer Entfernung über dem Roste dienen dazu, auch hier noch Luft zuzuführen, sowie nöthigenfalls zur Beseitigung von Versetzungen durch zusammengebackte Kohlen oder gesinterte Asche. Ein Theil der Verbrennungsluft wird in einem innerhalb der Feuerbrücke hin- und herführenden, von unten nach oben aufsteigenden Kanale *m m* erhitzt und strömt dann aus den in der oberen Fläche der Feuerbrücke angebrachten Schlitzen *d* rechtwinklig gegen die über die Feuerbrücke hinziehenden Gase; ein anderer

Theil steigt in ähnlich angeordneten Kanälen *n n* innerhalb der Seitenwände des Generators aufwärts, gelangt von hier aus in die Kanäle *c c* an der Rückwand und tritt endlich durch mehrere Spalten im Scheitel des Ofens in schräger Richtung abwärts gegen den Gasstrom. Die Erhitzung der Luft geschieht also nicht eigentlich durch die Abhitze des Ofens, sondern durch die an die Generatorwände abgegebene Wärme, und die Luft dient hierbei zugleich zur Kühlung der letzteren. Die gesammte Abhitze bleibt für andere Zwecke verfügbar.

Der Boëtiusofen zeichnet sich durch Einfachheit in der Anlage aus. Nicht zu verkennen ist jedoch, dass die Erhitzung der Luft in den Kanälen rings um den Generator herum eine erheblich geringere bleiben muss als in Siemens'schen Regeneratoren; und auch die Gase werden kaum mit jener Temperatur den Generator verlassen können, mit welcher sie in einen Siemensofen eintreten. Wenn daher ein Boëtiusofen an Stelle eines Herdflammofens mit directer Feuerung von Vortheil sein kann, so ist er dennoch nicht im Stande, einen Siemensofen in solchen Fällen zu ersetzen, wo eine sehr hohe Temperatur hervorgerufen werden muss.

Bicheroux's Feuerung.[1]) Ihrer allgemeinen Einrichtung zufolge der Boëtiusfeuerung ähnlich unterscheidet sie sich von dieser zunächst durch die bedeutend grössere Breite des Generators (gewöhnlich 2—2.5 m in der Breitenrichtung des Ofens gemessen), welche die Anhäufung grösserer Brennmaterialmassen im Generator ermöglicht und hierdurch die Gleichmässigkeit der Gasentwickelung befördert. Nicht allein die Rückwand des Generators ist, wie bei dem Boëtiusofen, geneigt, sondern auch die an der Seite der Feuerbrücke den Generator begrenzende Wand neigt sich unter einem Winkel von etwa 60 oder 65 Grad nach aussen, wodurch ebenfalls der Fassungsraum des Generators vergrössert wird. Wegen der grossen Breite des letzteren ist es nicht immer möglich, ihn unmittelbar an den Ofen zu legen, und man verbindet ihn mit demselben in solchen Fällen durch einen sich allmählich verengenden gemauerten Kanal.

Die Verbrennungsluft wird, ebenfalls wie bei dem Boëtiusofen, in Kanälen erwärmt, welche im Gemäuer des Ofens angeordnet sind, deren Anordnung im Einzelnen jedoch nicht immer übereinstimmt; aus der Rückwand des Ofens gelangt schliesslich die Luft durch eine Anzahl horizontal gerichteter, in einer Reihe neben einander angebrachter Schlitze in den Kanal hinter der Feuerbrücke, in welchem die Gase emporsteigen, um sich mit diesen zu mischen und die Verbrennung zu bewirken.

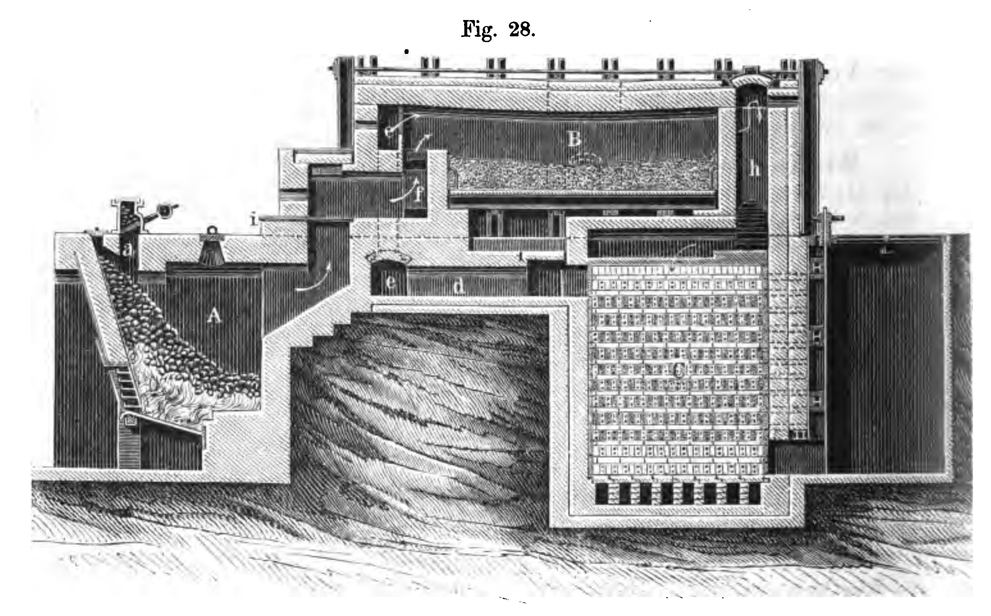
Der Bicherouxofen hat seiner Einfachheit und seiner unläugbar günstigen Ergebnisse halber eine ziemlich ausgedehnte Verwendung gefunden, vornehmlich in Rheinland und Westfalen. Bei Processen jedoch, wo sehr hohe Temperaturgrade erforderlich sind, ist er ebenso wenig als der Boëtiusofen geeignet, die Siemens'sche Feuerung zu ersetzen.

---

1) Von der Firma Bicheroux & Co. in Duisburg gebaut.

Ponsard's Feuerung. Die Abbildungen Fig. 28 und 29 zeigen die Einrichtung derselben. *A* ist ein gewöhnlicher Steinkohlengasgenerator, in der Nähe des zu heizenden Ofens angeordnet, so dass die Gase noch heiss in diesen gelangen. *a* ist die Füllöffnung, in der schon früher besprochenen Weise durch eine Klappe mit Gegengewicht und einen Deckel mit Wasserverschluss geschlossen; die daneben befindliche Oeffnung in der gewölbten Decke des Generators dient zum Losbrechen von Versetzungen u. s. w. *B* ist der Herd des Ofens, von welchem aus die Verbrennungsgase durch den Kanal *h* in den Raum *C* gelangen. Dieser dient als Erhitzungsapparat für die zuströmende Verbrennungsluft, welche hier durch die Abhitze des Ofens erwärmt wird. Man pflegt diesen Ponsard'schen Lufterhitzungsapparat mit dem Namen Recuperator zu bezeichnen. Er wird gebildet durch eine

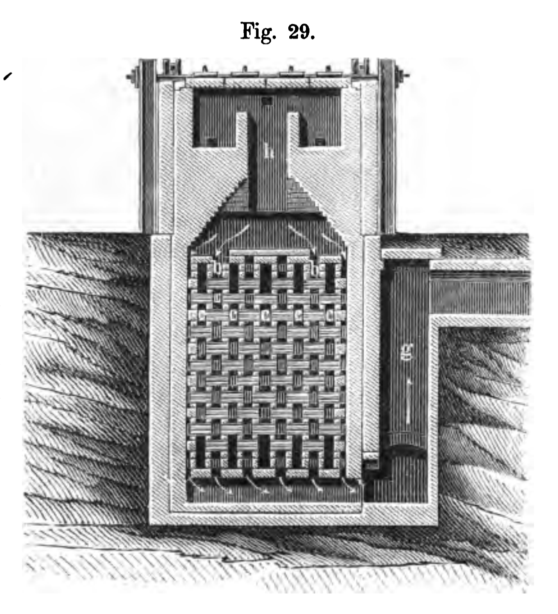
Fig. 28.



ziemlich grosse Zahl von senkrecht stehenden Kanälen mit vierseitigen Querschnitten und dünnen Scheidewänden. In der einen Hälfte dieser Kanäle strömen die heissen Gase, wie es durch die Pfeile in Fig. 29 angedeutet ist, abwärts, um durch den Kanal *g* nach dem Dampfkessel beziehentlich der Esse zu entweichen; zwischen diesen Gaskanälen, so dass sie auf allen vier Seiten von denselben umgeben sind, befinden sich nun die Luftkanäle für die aufwärts strebende Luft. Die Luftkanäle sind natürlich, damit die Luft nicht in die Gaskanäle gerathe, oben und unten geschlossen; die Luft tritt aus dem in Fig. 28 an der rechten Seite des Ofens sichtbaren geräumigen Kanale durch horizontale Oeffnungen (welche in Fig. 28 im Längsschnitte gezeichnet, in Fig. 29 als fünf schwarz gehaltene, rechteckige Schlitze gezeichnet sind), in die senkrechten Kanäle ein, steigt empor und gelangt am obern Ende durch eben solche Austrittsöffnungen in den Kanal *d* und von

hier nach *e*, um sich mit den in *f* aufsteigenden Gasen zu mischen. Die geschilderte Anordnung gewährt eine ausgedehnte Berührungsfläche zwischen der zu erhitzenden Luft und den als Heizmaterial dienenden Verbrennungsgasen; um dieselbe jedoch noch zu vergrössern sowie auch, um die Bewegung von Gas und Luft innerhalb des Recuperators zu erschweren, sind je zwei benachbarte Gaskanäle wie auch zwei benachbarte Luftkanäle durch eingemauerte horizontale Chamotteröhren (Hohlsteine) von rechteckigem Querschnitte mit innerer, der grösseren Haltbarkeit halber angebrachter, Zwischenwand unter einander verbunden. Fig. 28 lässt diese horizontalen Verbindungsröhren in der Stirnansicht, Fig. 29 im Längsschnitte erkennen. Indem man die in zwei über einander befindlichen Reihen angeordneten Verbindungsstücke gegen einander versetzt (vergl. Fig. 28), zwingt man Gas und Luft, sich in Windungen zu bewegen, ähnlich wie es in vielen Siemensregeneratoren durch Versetzung der Steine über einander erreicht wird (vergl. oben Fig. 25).

Fig. 29.



In dem Ponsardofen lässt sich, wie aus der gegebenen Beschreibung sich leicht erklärt, eine sehr bedeutende Erhitzung der Verbrennungsluft erreichen, so dass derselbe in seiner Wirkung dem Siemensofen kaum nachsteht; er hat vor diesem den Vortheil voraus, dass die Zugrichtung unverändert bleibt, ein Umstand, der allerdings in manchen Fällen die Construction wie die Bedienung des Ofens erleichtert; und er ermöglicht eine fernere Verwendung der Abhitze zur Kesselheizung, was bei den Siemensöfen unmöglich ist.

Dagegen ist die Herstellung wie die Reinigung und Reparatur des Ponsard'schen Lufterhitzers schwierig und kostspielig; trotz der von dem Erfinder angewendeten sorgfältigen Zusammenfügung der Steine ist es jedenfalls unvermeidlich, dass infolge der wechselnden Ausdehnung und Zusammenziehung in den Wänden der Kanäle Risse entstehen, durch welche die Luft, den kürzeren Weg wählend, austreten kann, um sich mit den abwärts ziehenden Verbrennungsgasen zu mischen, ohne ihre Bestimmung zu erfüllen.

Dieser Uebelstand ist es hauptsächlich, welcher sich einer ausgedehnteren Anwendung der übrigens vorzüglichen Ponsardöfen entgegen gestellt hat und es erklärlich macht, dass dieselben bislang fast

nur auf französischen Eisenwerken, im Vaterlande des Erfinders, in Benutzung gekommen sind.

A. **Pütsch's Feuerung.** Dieselbe, neuer als die zuletzt besprochenen Constructionen, ist in Fig. 30 und 31 dargestellt. *A* ist ein Generator, welcher, entsprechend der Verschiedenheit des zur Verwendung kommenden Brennstoffes, verschiedene Abweichungen zeigen kann, in jedem Falle aber in unmittelbarer Nähe des Ofens angeordnet wird. *C* ist der Herd des Ofens; von diesem gelangen die Gase durch einen Kanal *b* nach dem Raume *D*, in welchem neben einander zwei abwärts führende Oeffnungen d_1 d_2 angeordnet sind. Durch einen von

Fig. 30.

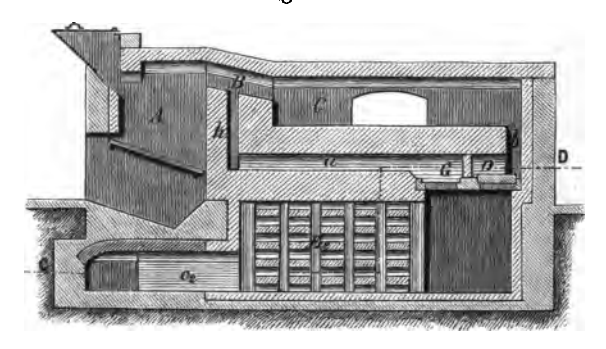
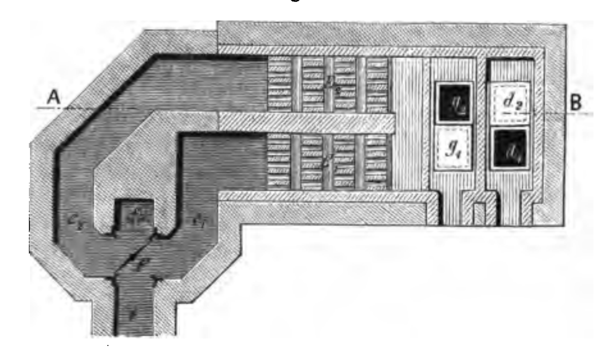


Fig. 31.



aussen beweglichen horizontalen Schieber wird je eine dieser Oeffnungen verschlossen, während die andere geöffnet ist. Diese Oeffnungen stehen in Verbindung mit unter dem Ofen angeordneten geräumigen, vollständig von einander geschiedenen Kanälen E_1 E_2 (die in Fig. 31 theilweise sichtbare Scheidewand zwischen beiden Kanälen verläuft bis zur Stirnwand des Ofens zwischen den Oeffnungen d_1 und d_2 hindurch). In jedem dieser Kanäle ist durch eingesetzte Steine ein Wärmespeicher, ähnlich den Siemens'schen Regeneratoren angeordnet; und durch Stellung der erwähnten Schieber sowie der Wechselklappe *F* bewirkt man, dass die Gase abwechselnd den einen und den andern dieser Wärmespeicher heizen.

Die Verbrennungsluft wird zunächst durch die Oeffnung *f* (Fig. 31) angesaugt, tritt dann je nach der Stellung der Wechselklappe *F* in den Horizontalkanal e_1 oder e_2, erhitzt sich in dem zuvor geheizten Wärmespeicher E_1 oder E_2 und gelangt durch eine der beiden Oeffnungen g_1 und g_2, von denen die zweite wiederum durch einen Schieber verschlossen gehalten wird, in den Raum *G*, um von hier unter dem Herde des Ofens hin durch den Kanal *a* nach *B* zu strömen, wo sie sich mit dem aus *A* kommenden Gase vereinigt. So findet, wie bei den Siemensöfen, durch Umsteuerung der Schieber und Wechselklappe *F* eine abwechselnde Erhitzung der Wärmespeicher durch die abziehenden Gase und der zutretenden Luft durch die aufgespeicherte Wärme statt; aber die Zahl der Wärmespeicher (Regeneratoren) ist hier gegenüber den Siemens'schen Oefen auf die Hälfte verringert, wodurch die Construction einfacher und billiger wird; die Flammenrichtung bleibt unverändert, und die von den Gasen aus dem Generator mitgebrachte Wärme wird ausgenutzt.

Bei Anwendung des Ofens für solche Zwecke, welche eine hohe Temperatur erheischen, dürfte eine geänderte Führung der heissen, aus den Wärmespeichern kommenden, Luft erforderlich sein. Derartige Oefen erfordern eine Kühlung des Herdes von unten durch hindurchstreichende kalte Luft, damit derselbe vor raschem Wegschmelzen geschützt sei (vergl. u. a. den in Fig. 19—24 abgebildeten Ofen); bei dem Pütschofen in der abgebildeten Anordnung wird der Herd nicht nur nicht gekühlt, sondern durch die erhitzte Luft noch obenein von unten erwärmt.

Herdflammöfen mit beweglichem Herde.

Wenn auf dem Herde eines Flammofens chemische Einwirkungen hervorgebracht werden sollen, sei es, dass verschiedene feste oder flüssige Körper dort gemischt sind und auf einander wirken sollen, sei es, dass durch die vorüberziehenden Gase oxydirende oder reducirende Einflüsse geübt werden sollen, so wird man bei den Oefen der bisher besprochenen Art mit fest stehendem Herde meistens genöthigt sein, durch Rühren, Umschaufeln oder dergleichen eine stetig erneuerte Berührung der auf einander wirkenden Körper herbeizuführen. Diese Arbeit wird entbehrlich, wenn man den Herd selbst durch eine mechanische Vorrichtung in eine solche Bewegung versetzt, dass auch die auf demselben angehäuften Körper in Bewegung gerathen, sich mischen, ihre Oberfläche erneuern. Für die Lösung dieser Aufgabe sind die Herdflammöfen mit beweglichem (drehbarem oder schwingendem) Herde bestimmt. Die Oefen mit drehbarem Herde pflegen Drehöfen, diejenigen mit schwingendem Herde Schaukelöfen genannt zu werden.

Der Form des Herdes gemäss lassen sich hierbei zwei Hauptgruppen unterscheiden.

a) **Cylinderöfen oder Eiöfen.** Der Herd hat cylinderähnliche (gewöhnlich tonnenartige) oder auch eiförmige Gestalt. Die Bewegung erfolgt fast immer durch Drehung um die Achse des Herdes, welche horizontal oder geneigt sein kann. Die meisten der hierher gehörigen Oefen dienen ganz besonderen Zwecken und werden deshalb bei

Besprechung des betreffenden Processes ausführlichere Erörterung finden.

b) **Telleröfen.** Der Herd ist tellerartig geformt und dreht sich entweder um seine Achse, die in diesem Falle eine schwache Neigung gegen die Vertikale zu haben pflegt, oder schwingt in horizontalen Zapfen. Ein Ofen der ersteren Art, von Pernot construirt und für verschiedene Zwecke verwendet, ist in Fig. 32 und 33 abgebildet. *l* ist der Herd, aus starkem Eisenblech construirt und mit einem geeigneten feuerfesten Material ausgefuttert. In der Mitte desselben sitzt die Achse

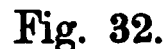
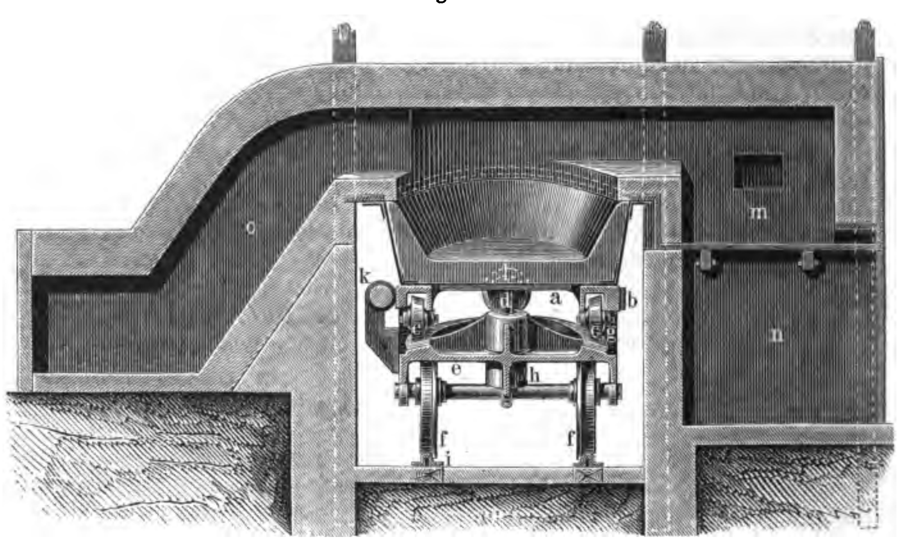


Fig. 32.



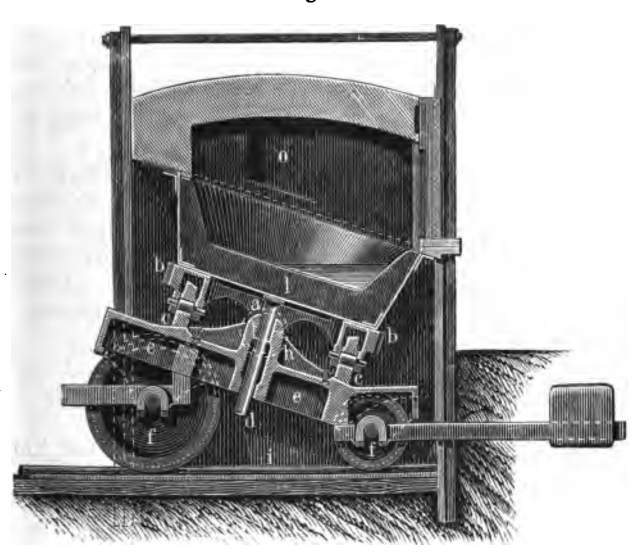
d, in einer Nabe *h* der starken Eisenplatte *e* drehbar. Zur Unterstützung des Herdes dienen ausserdem die Rollen *c c*, welche auf einer entsprechend geformten Bahn der Platte *e* laufen. An dem äusseren Umfange des Gussstückes *a*, auf welchem der Herd befestigt ist, befindet sich der Zahnkranz *b*, im Eingriffe mit einer Schraube *k*, welche von aussen her vermittelst einer Transmission gedreht wird und die Drehung auf den Zahnkranz und somit auf den Herd selbst überträgt. Die Platte *e* wird von Rädern *ff* getragen, welche es ermöglichen, den ganzen Herd nebst Zubehör wie einen Wagen aus dem Ofen seitlich heraus zu schieben, wenn Reparaturen vorgenommen werden sollen und in ähnlichen Fällen. Damit aber während des Betriebes ein dichter Anschluss des Herdes an den feststehenden Theil des Ofens erzielt werde, ohne dass jene Bewegung des Wagens erschwert werde, ruht die Platte *e* nicht unmittelbar auf den Rädern, sondern auf Hebeln mit Gegengewichten, wie in Fig. 33 erkennbar, welche den Herd emporzudrücken und solcherart den dichten Anschluss herstellen, sobald der Wagen an Ort und Stelle ist, sich aber unschwer anheben lassen, wenn der Herd herausgefahren werden soll. *i* sind die Schienen, auf welchen

der Wagen läuft, *m* ist die Feuerung des Ofens, die beliebig als directe oder Gas-Feuerung eingerichtet sein kann, *o* der Fuchs.

Die geneigte Stellung der Herdachse bewirkt, dass, wenn flüssige Körper sich auf dem Herde befinden, sie sich an der tiefsten Stelle desselben sammeln, statt auf der ganzen Herdfläche ausgebreitet oder vermöge der Centrifugalkraft während der Drehung nach dem Rande hin getrieben zu werden. Hierdurch wird einestheils die gleichmässige Mischung verschiedenartiger Körper befördert, anderntheils auch der Herd selbst, da er an der höchsten Stelle unbedeckt ist, während der



Fig. 33.



Drehung nach und nach vollständig der unmittelbaren Einwirkung der Flamme preisgegeben und hierdurch stark erhitzt.

Der ersparten menschlichen Arbeit bei Benutzung von Drehöfen steht der erforderliche Aufwand an mechanischer Arbeit, sowie die grössere Kostspieligkeit der Anlage gegenüber. Ausserdem ist die Anwendung jener Oefen naturgemäss auf solche Fälle beschränkt, wo Mischungen herbeigeführt oder die Oberfläche eines flüssigen Körpers stetig erneuert werden soll. Es erklärt sich hieraus, dass die Drehöfen in weit selteneren Fällen als Oefen mit feststehendem Herde zur Anwendung gelangen.

Wirkungsgrad der Flammöfen.

Bei den mannigfachen Formen des Flammofens ist sein Wirkungsgrad ein sehr verschiedener. Er wird günstiger sein, wenn, wie bei den Siemensöfen und Ponsardöfen, ein Theil der Abhitze wieder

in den Ofen zurückgeführt wird als wenn, wie bei den Oefen mit directer Feuerung, dieselbe für den eigentlichen Ofenprocess verloren geht; er wird ferner günstiger sein, wenn der zu erhitzende Körper auf eine grosse Fläche ausgebreitet als wenn er in einem kleinen Raume zusammengedrängt oder gar in einen Tiegel eingeschlossen ist.

Auch die am günstigsten arbeitenden Flammöfen besitzen indessen einen nicht unerheblich niedrigeren Wirkungsgrad als direct wirkende Schachtöfen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung der wärmeabgebenden und zu erhitzenden Körper. Der Grund hierfür liegt theils in dem Umstande, dass die Aussenfläche der Flammöfen im Verhältnisse zu ihrem nutzbaren Rauminhalte d. h. zu der Menge der in gewissen Zeiträumen zu verarbeitenden Körper, beträchtlich ist, hauptsächlich aber in dem Wegfalle jener für den direct wirkenden Schachtofen so charakteristischen Bewegung der zu erhitzenden Körper dem heissen Gasstrome entgegen, welche eine allmähliche Erhitzung durch die Abhitze und dadurch eine sehr günstige Ausnutzung der Wärme ermöglicht.

Bei Herdflammöfen mit directer Feuerung und directer Erhitzung pflegt der Wirkungsgrad 0.08—0.10 zu betragen; bei Gasfeuerung mit Zurückführung der Abhitze durch die Verbrennungsluft beziehentlich durch die Gase (Siemens'sche, Ponsard'sche Oefen) steigt derselbe auf 0.14—0.18; bei Anwendung von Tiegeln sinkt er — selbst in Siemensöfen — auf 0.03—0.04, und wenn directe Feuerung dabei angewendet wird, auf 0.02.

3. Einbau der Oefen.

In dem Vorstehenden war nur von dem Profile und der Verwendung des innern Raumes der Oefen, welcher zur Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe bestimmt ist, sowie von den Beziehungen zwischen der Form dieses Raumes und seiner Bestimmung die Rede. Dieser innere Raum nun ist naturgemäss von einem Ofenkörper eingeschlossen, welcher vollständig oder zum grössten Theile aus Mauerwerk zu bestehen pflegt, und dessen Herstellung (Einbau des Ofens) alle Aufmerksamkeit des Praktikers erfordert, wenn der Ofen seine Bestimmung erfüllen soll. Denn jener Ofenkörper, der ja erst den eigentlichen Ofen bildet, muss widerstandsfähig genug sein, um nicht durch die auf ihn wirkenden, oft recht beträchtlichen physikalischen und chemischen Einflüsse (Ausdehnung durch die Wärme und Zusammenziehung beim Erkalten, Wegschmelzen u. v. a.) zerstört oder unbrauchbar gemacht zu werden; er darf aber auch, wenn er als zweckmässig bezeichnet werden soll, in seiner ganzen Einrichtung nicht zu schwerfällig und kostspielig sein und soll andererseits auch nicht Veranlassung zu vermeidlichen, dem Zwecke des Ofens nachtheiligen Wärmeverlusten geben.

Je höher die in einem Ofen entwickelte Temperatur ist, desto leichter sind natürlich alle dieser Temperatur ausgesetzten Theile des Ofens dem Wegschmelzen unterworfen. Man verwendet daher zur Herstellung des Ofens oder wenigstens des Ofeninnern in allen den Fällen, wo dunkle Rothgluth überschritten wird, sogenannte feuerfeste Materialien, von deren Beschaffenheit unten ausführlicher die Rede sein

wird. Da es aber keinen Körper giebt, welcher in den hohen Temperaturen, und unter den chemischen Einflüssen, welche in den Oefen des Eisenhüttengewerbes vielfach sich geltend machen, durchaus feuerfest, unschmelzbar wäre, so kühlt man vielfach künstlich die der Erhitzung vorzugsweise ausgesetzten Stellen, sei es durch äussere Berieselung mit Wasser, sei es, indem man in die Ofenwand entsprechend geformte Hohlstücke aus Gusseisen, Bronze, Schmiedeeisen einlegt, durch welche ununterbrochen kaltes Wasser hindurchfliesst. Letztere Methode ist jedenfalls die vorzüglichere und ist gefahrlos, sobald man Sorge trägt, dass das betreffende Kühlstück vollständig mit Wasser gefüllt bleibt (indem man das von einem höher gelegenen Behälter kommende Wasser an der tiefsten Stelle ein- und an der höchsten austreten lässt) und das Wasser ununterbrochen zu- und abfliesst, so dass seine Temperatur nicht über 40—50° C. steigt. Unläugbar ist mit einer solchen Kühlung ein Wärmeverlust verknüpft, dessen Höhe sich ohne Schwierigkeit aus der Temperaturzunahme und Menge des verbrauchten Kühlwassers berechnen lässt; dieser Nachtheil ist aber verschwindend klein gegen die durch die Kühlung erreichte grössere Haltbarkeit vieler Oefen, und zahlreiche Erfahrungen beweisen, dass auch eine sehr weit getriebene Kühlung eines Ofens selten im Stande ist, eine merkliche Beeinträchtigung der Wärmeausnutzung (des Wirkungsgrades des Ofens) herbeizuführen.

Statt des Wassers bedient man sich auch wohl der Luft als Kühlungsmittel, wenn eine weniger starke Kühlung erforderlich ist, und benutzt nicht selten die hierbei erhitzte Luft später als Verbrennungsluft bei der Heizung des Ofens. In dieser Weise kühlt man häufig den Herdboden und die Seitenwände von Herdflammöfen, die Wände der Gasgeneratoren. Da die Luft jedoch 770 mal leichter als das Wasser und ihre specifische Wärme nur = 0.237 ist, so ist die kühlende Wirkung des gleichen Volumens Luft auch ganz bedeutend geringer als die des Wassers, und ein sehr rascher Luftwechsel ist nöthig, wenn überhaupt eine Wirkung erreicht werden soll.

Von Wichtigkeit ist die Bemessung der richtigen Wandstärke eines Ofens. Es kommen hierbei vornehmlich zwei Gesichtspunkte in Betracht: erstens die Standfestigkeit und Haltbarkeit des Ofens und zweitens die durch Wärmetransmission hervorgerufenen Wärmeverluste bei zu dünnen Wänden.

Bis vor nicht allzu langer Zeit legte man auf den zuletzt genannten Gesichtspunkt den grösseren Werth und gab deshalb Oefen, in denen beträchtliche Wärmemengen entwickelt werden und eine hohe Temperatur herrschen soll, weit stärkere Wände als lediglich für ihre Haltbarkeit nothwendig gewesen sein würde. Dadurch wurde der Ofen oft ausserordentlich schwerfällig und kostspielig; und die Haltbarkeit des Ofens wurde oft geringer als bei weniger starken Wänden. Um diese Thatsache zu verstehen, möge man sich einestheils vergegenwärtigen, dass eine dicke Mauer, wenn sie einseitig erhitzt und abgekühlt wird, leichter Risse bekommt als eine dünnere, welche gleichmässiger erwärmt wird und leichter der stattfindenden Ausdehnung und Zusammenziehung nachgiebt; andererntheils, dass Ofentheile, die von dicken, schlecht wärmeleitenden Wänden umgeben und einer hohen Temperatur

ausgesetzt sind, auch selbst stärker hierbei erhitzt werden und daher dem Wegschmelzen weit eher unterworfen sind, als wenn die Wände dünner sind und dabei unter dem Einflusse der umgebenden Luft auch kühler als jene gehalten werden.

Ausserdem lehrte nun aber allmählich die Praxis, dass jene Einflüsse auf die Ersparung an Wärme im Ofen, die man früher von der Anwendung dicker Wände als selbstverständlich erwartete, bei weitem nicht so bedeutend sind, als man allerdings im ersten Augenblicke anzunehmen versucht ist; ja es zeigte sich nicht selten, dass ein Ofen mit dünneren Wänden zur Durchführung desselben Processes nicht mehr Brennstoff erforderte als ein anderer mit dicken Wänden.

Es lassen sich verschiedene Ursachen für diese Erscheinuug anführen.

In einem Ofen mit rascher Verbrennung, in welchem also die erzeugten Gase mit grosser Geschwindigkeit sich fortbewegen, wie es thatsächlich bei den meisten Oefen für metallurgische Zwecke der Fall ist, bildet die durch die Wände des Ofens hindurch verloren gehende Wärme, auch wenn sie an und für sich nicht unbedeutend sein sollte, doch immerhin einen nur geringen Theil der überhaupt entwickelten und von den Gasen mitgenommenen Wärme; eine Vermehrung oder Verminderung der ersteren beeinflusst die gesammte Wärmeausnutzung im Ofen daher auch nur in unbedeutendem Maasse. Bei einem Schachtofen mit senkrechter Achse kommt noch ein anderer Umstand hinzu. Man kann sich denselben angefüllt denken mit einer sich aufwärts bewegenden und stetig sich erneuernden Gassäule und einer sich abwärts bewegenden Säule aus Stücken fester Körper (Brennstoffe, Erze u. s. w.), welche von jener Gassäule durchdrungen wird. Beide sind schlechte Wärmeleiter, die Gase an und für sich, die Säule der festen Körper, weil sie aus einzelnen sich nur unvollkommen berührenden Stücken besteht, zwischen denen wieder Gase sich befinden. Die Abkühlung von den Wänden des Ofens her würde daher, auch wenn jene Körper nicht in Bewegung wären, nur sehr allmählich auf die im Inneren befindlichen Theile des Ofeninhalts einwirken kömen; jene stetige Erneuerung der sich bewegenden Schichten aber bringt es mit sich, dass diese Abkühlung nur in einer sehr geringen Entfernung von den Wänden noch bemerkbar bleibt, den bei weitem grössten Theil des Ofenquerschnittes aber unbeeinflusst lässt. Es entsteht gewissermaassen an den Wänden eine schmale ringförmige Uebergangszone, innerhalb welcher die Temperatur sehr rasch von aussen nach innen steigt. So erklärt es sich unschwer, dass man thatsächlich im Stande ist, in einem vollständig aus Eisenblech ohne irgend einen Einsatz aus schlechteren Wärmeleitern (feuerfesten Steinen) hergestellten Ofen, welcher ringsum von Wasser gekühlt ist, Eisen zu schmelzen und auf Weissgluth zu erhitzen, ohne dass der Brennstoffverbrauch übermässig gross wäre und ohne dass der Eisenblechmantel Schaden leidet.[1])

Gestützt auf derartige Erfahrungen nimmt man mit vollem Rechte bei neueren Ofenconstructionen nicht die Verhinderung der Wärme-

---

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 149.

transmission, sondern die Haltbarkeit des Ofens als Ausgangspunkt für die Bemessung der Wandstärken und erhält dabei erheblich leichtere, billigere Oefen als in früherer Zeit. Nur bei Oefen mit langsamer Verbrennung in grossen Räumen und ununterbrochenem Betriebe, in denen also das Verhältniss der durch die Wände hindurchgehenden Wärme zu der überhaupt entwickelten bedeutender ist als gewöhnlich, würden dickere Wände, als gerade für die Haltbarkeit nothwendig ist, von Vortheil sein können (Trockenöfen der Eisengiessereien).

Da, wie oben erwähnt wurde, der innere Theil der Oefen aus feuerfestem Materiale hergestellt wird, dieses aber erheblich kostspieliger zu sein pflegt als gewöhnliches Ziegel- oder Bruchsteinmauerwerk, so bildet man wohl, wenn aus besonderen Gründen dicke Wände nöthig sind, dieselben aus zwei Schichten, einer innern aus feuerfestem Material, das Futter oder bei Schachtöfen der Kernschacht genannt, und einer äussern aus gewöhnlichem Mauerwerke, welche das Rauhgemäuer heisst. Um der grösseren Ausdehnung des stärker erhitzten Futters Rechnung zu tragen, werden beide Schichten ohne Verband unter einander aufgeführt; nicht selten lässt man, wo es ohne Beeinträchtigung der Haltbarkeit des Ofens geschehen kann, zwischen ihnen einen Zwischenraum von einem oder mehreren Centimetern Breite, der entweder nur mit Luft gefüllt bleibt oder auch wohl mit Asche, Schlackenstückchen oder anderen schlechten Wärmeleitern ausgefüllt wird (Füllung).

Bei dem Aufbaue eines aus Rauhgemäuer und Futter bestehenden Ofens wird zunächst das erstere fertig gestellt und dann das Futter eingesetzt.

Um den nachtheiligen Einflüssen der Ausdehnung und Zusammenziehung des Ofengemäuers bei wechselnder Temperatur entgegen zu wirken, pflegt man die Oefen mit einer eisernen Rüstung zu versehen, welche der äussern Form des Ofens entsprechend verschieden eingerichtet ist. Für Schachtöfen mit kreisförmigen Querschnitten benutzt man nicht selten einen aus Eisenblech zusammengenieteten Mantel; oder man begnügt sich mit ringförmigen, um den Ofen herum gelegten, Ankern. Herdflammöfen pflegt man mit senkrecht stehenden, gusseisernen Platten an den Seitenwänden einzufassen, welche durch schmiedeeiserne, oberhalb und unterhalb des Gemäuers hindurchgehende Queranker zusammen gehalten werden und zugleich für den Schub der gewölbten Decke den nöthigen Widerstand bilden. Wegen der leichteren Anbringung dieser Platten pflegt man den Herdflammöfen äusserlich einen rechtwinkligen Grundriss zu geben.

Da jede Fuge, jeder Riss in dem Ofenfutter den im Innern herrschenden zerstörenden Einflüssen eine vergrösserte Oberfläche, einen neuen Angriffspunkt darbietet, so muss man der Herstellung dieses Futters eine um so grössere Aufmerksamkeit widmen, je kräftiger jene Einflüsse sind, je höher insbesondere die herrschende Ofentemperatur ist. Das Einsetzen jenes Futters heisst das Zustellen des Ofens. Es giebt hierfür zwei verschiedene Methoden.

Bei der einen Methode wird die als Material für die Zustellung bestimmte Substanz im angefeuchteten, plastischen Zustande mit Hilfe von Schablonen und Modellen erst innerhalb des Ofens selbst in die

erforderliche Form gebracht, mit eisernen Stampfern festgestampft, dann allmählich getrocknet.[1]) Es ist also erforderlich, Körper zu verwenden, welche jene hierfür erforderliche Eigenschaft der Bildsamkeit besitzen (sogenannte Masse, daher Massezustellung); der Hauptvortheil dieses Verfahrens liegt in der Vermeidung aller Fugen. Das nöthig werdende Trocknen aber erfordert eine ziemlich lange Zeit, während welcher der Ofen ausser Benutzung bleiben muss, und wenn es nicht mit der nöthigen Sorgfalt geschieht, entstehen Risse, die unter Umständen gefährlicher sein können als Fugen einer gemauerten Zustellung. Die ganze Arbeit erfordert grosse Umsicht und Erfahrung.

Bei der zweiten, durchschnittlich weit häufiger angewendeten, Methode werden Steine, natürlich vorkommende oder künstlich dargestellte, zur Herstellung des Futters durch Aufmauerung in Verband benutzt. Wo das Ofenprofil gekrümmte Linien zeigt, müssen diese Steine der betreffenden Form entsprechend gestaltet sein (Façonsteine), damit ein guter Verband und dichter Anschluss erzielt werde.

Aber auch wenn die Steine im Grossen und Ganzen derartig vorgearbeitet sind, dass sie dieser Bedingung entsprechen, schliessen sie doch niemals so dicht zusammen, dass nicht beim Einlegen selbst ein Nacharbeiten erforderlich wäre. Man bewirkt dasselbe am vollkommensten, indem man Stein an Stein schleift, bis beide genau an einander passen und die Fuge vollständig dicht schliesst.

Als Bindemittel beim Einbauen der Steine benutzt man am geeignetsten das beim Schleifen derselben entstehende Mehl, welches mit etwas Wasser, unter Umständen unter Zusatz von etwas Thon, zu einem wässerigen Brei angerührt wird. Wollte man nun aber, wie es bei Herstellung von gewöhnlichem Mauerwerk üblich ist, die Steine förmlich in eine Lage dieses Mörtels einbetten, so würde nicht allein jener durch Schleifen erzielte dichte Anschluss der benachbarten Steine wieder beeinträchtigt werden, sondern die zwischen den Steinen befindliche dicke Lage des Bindemittels würde beim Trocknen und Erhitzen zusammenschwinden, Risse bekommen, theilweise herausfallen und eine klaffende Fuge hinterlassen. Das gesammte Mauerwerk würde in Kurzem zerstört sein. Man taucht deshalb den einzulegenden Stein mit den betreffenden Flächen nur eben in die als Bindemittel dienende flüssige Masse, bringt ihn dann an Ort und Stelle und reibt ihn nun so lange hin und her, bis ein genauer Anschluss an die benachbarten, vorher eingelegten Steine erreicht ist. Das Bindemittel (der Mörtel) hat eben nur den Zweck, eine vollständige Ausfüllung der etwa zufällig gebliebenen Zwischenräume zu bewirken, und die Festigkeit des Gemäuers muss vorwiegend durch guten Verband erzielt werden.

4. Die feuerfesten Materialien.

Unter feuerfesten Materialien versteht man diejenigen zum Ofenbau benutzten Körper, welche fähig sind, den in den Oefen für technische

---

1) Die Ausführung des Verfahrens im besondern wird bei der Besprechung der einzelnen Processe der Eisendarstellung mehrfach erwähnt werden.

Zwecke entwickelten höheren Temperaturen, sowie den in diesen höheren Temperaturen zur Geltung gelangenden physikalischen und chemischen Vorgängen längere Zeit hindurch zu widerstehen. Diese Vorgänge sind ausser der einfachen Schmelzung die Ausdehnung und Zusammenziehung bei wechselnder Temperatur, die Berührung mit anderen hocherhitzten Körpern und die dabei gegebene Gelegenheit, mit diesen Verbindungen von niedrigerem Schmelzpunkte einzugehen; u. a. m.

Es folgt hieraus, dass der Begriff der Feuerfestigkeit keineswegs ein scharf umgrenzter, sondern vielmehr abhängig ist von der Art des Processes, bei dessen Durchführung die feuerfesten Materialien benutzt werden sollen. Ein Körper, der in dem einen Falle ausreichend haltbar ist, kann in einem andern Falle vollständig unbrauchbar sein, wenn entweder die Temperatur höher ist oder wenn andere chemische Einflüsse sich geltend machen. Ein an und für sich fast unschmelzbarer Körper wird nicht selten verhältnissmässig leicht schmelzbar, wenn er in Berührung mit gewissen anderen Körpern — beispielsweise Asche von bestimmter Zusammensetzung — gebracht wird. Es folgt hieraus, dass die Wahl des feuerfesten Materials abhängig sein muss von der Art des durchzuführenden Processes, und zwar ebensowohl von der dabei entwickelten Temperatur an und für sich, als von den während des Processes herrschenden chemischen Einflüssen.

Die feuerfesten Materialien kommen entweder als bestimmte Gesteine, die nur noch einer äusseren Bearbeitung (Formgebung) bedürfen, um verwendbar zu sein, in der Natur vor, oder sie werden — und zwar in weit grösseren Mengen als jene — künstlich aus natürlich vorkommenden mineralischen Rohstoffen dargestellt.

Die Grundbestandtheile der meisten feuerfesten Materialien sind folgende:

Kieselsäure (Quarz), an und für sich fast unschmelzbar.

Thonerde, im reinen Zustande auch in den höchsten Temperaturen kaum sinternd und nach Bischof noch schwieriger schmelzbar als Kieselsäure.

Kalkerde und Magnesia. Beide sind an und für sich unschmelzbar.

Eisenoxyd und Eisenoxyduloxyd. Beide Verbindungen erweichen nur in sehr hoher Temperatur und werden daher mitunter als feuerfeste Materialien benutzt, wo die Eigenthümlichkeit des Processes, insbesondere der beabsichtigten chemischen Wirkungen, die Anwendung anderer Körper ausschliesst. Eisenoxyd giebt in hoher Temperatur einen, wenn auch geringen, Theil seines Sauerstoffgehaltes ab, ohne jedoch dadurch an Strengflüssigkeit einzubüssen.

Selten oder nie gelangen jedoch diese genannten Grundbestandtheile der feuerfesten Materialien im ganz reinen Zustande zur Verwendung. Auch die natürlich vorkommenden, als feuerfestes Material brauchbaren Gesteine enthalten neben einander stets mehrere jener Stoffe in mechanischer Mengung, theilweise auch wohl in chemischer Vereinigung (Thonerde im reinen Zustande z. B. kommt überhaupt nie

vor, sondern stets in chemischer Verbindung mit Kieselsäure als „Thon"). Die reinen Körper würden nicht die erforderliche Haltbarkeit besitzen, sie würden reissen, springen, in Pulver zerfallen.

Durch diesen Gehalt an Nebenbestandtheilen kann nun allerdings, indem dadurch die Gelegenheit zur Entstehung chemischer, in niedrigerer Temperatur schmelzender Verbindungen gegeben ist, die Feuerfestigkeit des betreffenden Körpers mehr oder weniger beeinträchtigt werden. Kieselsäure kann sich mit Thonerde, Kalkerde, Magnesia u. s. w. zu schmelzbaren Silikaten vereinigen; Eisenoxyd und Kalkerde liefern ebenfalls, unter gewissen Verhältnissen zusammengebracht, eine schmelzbare Verbindung; u. s. f.

Die Schmelztemperatur solcher gemengten Körper ist nach der Zusammensetzung des Gemenges verschieden; sie liegt im Allgemeinen um so höher, je mehr der eine der im Gemische befindlichen, an und für sich unschmelzbaren, Körper seiner Menge nach vorwiegt und sinkt, wenn der Gehalt des zweiten Körpers steigt und sich dem des erstern nähert. Die Schmelztemperatur pflegt bedeutend erniedrigt zu werden, wenn neben jenen zwei Körpern ein dritter oder vierter in das Gemenge eintritt.

Ein Gemenge von reinem Quarz mit Eisenoxyd, Kalkerde, Magnesia bleibt unschmelzbar, so lange nur einer dieser letzteren Körper zugegen ist, selbst wenn die Menge desselben bis 10 Proc. beträgt; es wird sofort schmelzbar, wenn ein Theil desselben durch Thonerde ersetzt wird. Ein im reinen Zustande fast unschmelzbares Thonerdesilikat wird schmelzbar, wenn Magnesia, Kalk, Eisen, Alkalien u. s. w. hinzutreten; u. s. f.

Es folgt hieraus, dass, obschon die Anwesenheit zweier verschiedener Körper, eines Haupt- und eines Nebenbestandtheiles, in den feuerfesten Materialien aus den angeführten Gründen gewöhnlich unerlässlich ist, doch die zufällige Anwesenheit dritter Körper, welche mit jenen chemische Verbindungen einzugehen fähig sind, auch bei kleinen Mengen derselben höchst nachtheilig auf die Feuerbeständigkeit einwirkt, und man um so mehr Bedacht nehmen muss, nur solche Materialien zu verwenden, welche möglichst frei von solchen zufälligen Beimengungen sind, einer je höheren Temperatur das betreffende Material ausgesetzt werden soll.

Glücklicherweise wird der nachtheilige Einfluss der gleichzeitigen Anwesenheit zweier oder mehr verschiedenartiger Körper auf die Feuerbeständigkeit eines Materials durch den Umstand etwas abgemindert, dass in sehr vielen Fällen diejenige Temperatur, bei der aus einem Gemenge eine schmelzbare Verbindung entsteht, nicht unerheblich höher liegt als die Schmelztemperatur der bereits fertigen Verbindung. Man wird also in solchen Fällen Gemenge von zwei Körpern Temperaturen ohne Gefahr der Schmelzung aussetzen können, welche sie nicht ertragen würden, wenn sie sich unter den nämlichen Gewichtsverhältnissen bereits in chemischer Vereinigung befunden hätten.

A. Feuerfeste Materialien mit Kieselsäure als Grundbestandtheil.

Quadersandstein, aus Quarzkörnchen mit thonigem Bindemittel bestehend, bildet ein geschätztes Zustellungsmaterial für Holzkohlenhochöfen und andere Zwecke, wo der Stein nicht mit einer allzu basischen Schlacke (welche denselben durch Auflösung von Kieselsäure angreifen würde) in Berührung kommt. Zu vermeiden sind Steine mit sogenannten eisenschüssigen, durch ihre braune Farbe kenntlichen Stellen. Beim Einbauen der Steine ist Rücksicht darauf zu nehmen, dass die Lagerungsflächen (Spaltungsflächen) normal gegen das Ofeninnere gerichtet sind, weil sonst leicht ein Abspalten der Stücke beim Erhitzen eintritt.

Puddingstein, abgerundete, nuss- bis faustgrosse Concretionen, oder Gerölle von Feuerstein mit feuerstein- oder hornsteinartigem Bindemittel verkittet. Derselbe kommt vorwiegend in England und Belgien vor und wird dort als feuerfestes Material benutzt.

Kieselschiefer, ein schiefriges, im Wesentlichen aus Quarzkörnern bestehendes Gestein von weissgrauer Farbe. Ein als Ofenbaumaterial besonders geschätztes Vorkommniss desselben wird in der Gegend von Brieg in Schlesien gefunden und mit Vorliebe für den Bau von Herdflammöfen, insbesondere der Decke derselben, verwendet.

Granit mit ca. 72 Proc. Kieselsäure, 16 Proc. Thonerde, daneben Eisen, Kalkerde, Magnesia und Alkalien enthaltend, ist mitunter, wenn auch selten, als feuerfestes Material benutzt worden.

Ganister, ein bei Sheffield unter den Steinkohlenschichten sowie in der Gegend von Düsseldorf vorkommendes Gestein mit 1—7 Proc. Thonerde und Eisenoxyd, übrigens aus feinen Quarzkörnern bestehend, wird vielfach als Material zum Auskleiden der Bessemerbirnen benutzt. Gewöhnlich wird er für diesen Zweck zerkleint, mit wenig Thon als Bindemittel vermengt, mit Wasser angefeuchtet und, wie oben erwähnt, durch Einstampfen verarbeitet.

Dinassteine. Diese aus Quarzkörnern künstlich hergestellten, ausserordentlich werthvollen Steine für alle Zwecke, wo eine sehr hohe Temperatur entwickelt wird, ohne dass chemische Einflüsse, insbesondere die Einwirkung basischer Körper, sich geltend machen können, verdanken ihren Namen dem Umstande, dass das ursprünglich für ihre Anfertigung benutzte Material von dem Dinasfelsen im Thale von Neath in Glamorganshire stammt. Sie bestehen aus Quarzkörnern — der eigentliche Dinasquarz enthält 97 Proc. Kieselsäure —, welche durch Mahlen des Quarzfelsens gewonnen, dann mit sehr wenig gebranntem Kalk (ca. 1 Proc.) und Wasser vermischt, zu Steinen geformt und gebrannt werden.

B. Feuerfeste Materialien mit Thonerde als Grundbestandtheil.

Bauxit. Dieses, vorwiegend in Frankreich [1]) vorkommende Mineral enthält 50—65 Proc. Thonerde, 35—10 Proc. Eisenoxyd, daneben Kiesel-

---

1) Der Name stammt von dem Fundorte Baux bei Arles.

säure (bis zu 25 Proc.), mitunter etwas Titansäure und Wasser. Nach dem Brennen, welches zur Austreibung des Wassers erforderlich ist, bildet es ein sehr widerstandsfähiges Material, welches zu einzelnen Zwecken des Eisenhüttenbetriebes, wo sich andere Körper weniger bewährten, benutzt wird. Man formt Ziegel daraus, brennt sie und benutzt sie zur Ausfutterung der Oefen.

Feuerfester Thon, Chamotte und Chamottesteine. Den Hauptbestandtheil des unter dem Namen Chamotte ausserordentlich häufig und für die mannigfachsten Zwecke angewendeten Materials bildet der in der Natur vorkommende sogenannte feuerfeste Thon, im Wesentlichen bestehend aus einem Silikate der Thonerde mit mechanisch beigemengtem Quarze, daneben aber auch kleinere Mengen Eisenoxyd, alkalische Erden, Alkalien u. s. w. enthaltend. Wie aus Früherem hervorgeht, beeinträchtigt die Anwesenheit dieser fremden Körper die Feuerbeständigkeit des Thones, und wenn ihr Gehalt eine gewisse Grenze überschreitet, so verliert derselbe überhaupt die Brauchbarkeit für Herstellung feuerfester Materialien. In den feuerfesten Thonen übersteigt der Gesammtgehalt an jenen Körpern (excl. des Wassers) selten 6 Proc. und bleibt in den besten Sorten gewöhnlich erheblich hinter dieser Ziffer zurück; in den gewöhnlichen für die Töpferei benutzbaren Thonen pflegt er ganz beträchtlich höher zu sein.

Das reine Thonerdesilikat, dessen Zusammensetzung jedoch innerhalb gewisser Grenzen schwankt, ist in den Temperaturen unserer Oefen unschmelzbar; sein Schmelzpunkt steigt mit dem Thonerdegehalte und die thonerdereichsten Thone sind daher für die Benutzung als feuerfeste Materialien durchschnittlich am werthvollsten. Der dem Thone mechanisch beigemengte Quarz vermag, wie sich von selbst versteht, die Feuerfestigkeit des Thones erst dann zu beeinträchtigen, wenn er mit demselben in chemische Vereinigung tritt, d. h. in das Silikat übergeht; diese Bildungstemperatur der Silikate liegt jedoch, wie schon oben angedeutet wurde, höher als ihre Schmelztemperatur und im Allgemeinen um so höher, je grösser die Menge der anwesenden Kieselsäure ist. Es folgt hieraus, dass dem Thone eine ziemlich beträchtliche Menge Quarz mechanisch beigemengt sein kann, ohne erheblich benachtheiligend auf die Feuerfestigkeit desselben einzuwirken.

Nach Analysen von Bischof enthielten z. B.:

	Thonerde	Kieselsäure gebund.	Kieselsäure beigemengt	Summa Kieselsäure	Erden, Alkalien, Eisenoxyd	Glühverlust
Sehr strengflüssiger Thon v. Saarau	36.30	38.94	4.90	43.84	1.26	17.78
Böhmischer feuerfester Thon . .	38.54	40.53	5.15	45.68	2.04	13.00
Mässig feuerfester Thon aus der Pfalz	35.05	39.05	8.01	47.33	6.75	10.51
Weniger feuerfester Thon aus dem Siegenschen	28.05	30.71	27.61	58.32	4.75	8.66

Der Thonerdegehalt der meisten feuerfesten Thone schwankt von 25—35 Proc., der Kieselsäuregehalt (incl. des mechanisch beigemengten

Quarzes) von 45—65 Proc., der Wassergehalt von 10—15 Proc. Es folgt aber aus dem oben Gesagten, dass die Bestimmung des Kieselsäure- und Thonerdegehaltes allein nicht für die Feuerfestigkeit maassgebend sein kann, sofern man nicht ermittelt, wie viel Kieselsäure im freien Zustande zugegen und wie viel an Thonerde gebunden ist.[1])

Alle Thone besitzen, wenn sie mit Wasser angefeuchtet sind, eine grosse Bildsamkeit, und die aus ihnen geformten Gegenstände erhärten bekanntlich, wenn sie getrocknet und gebrannt werden. Bei diesem Trocknen und Brennen aber zieht sich der Thon, insbesondere der feuerfeste Thon, während er seinen Wassergehalt entlässt, zusammen, er schwindet, und die Folge davon ist die Entstehung von Rissen.

Gebrannter Thon hat, auch wenn er aufs Neue mit Wasser angefeuchtet oder eingeweicht wird, seine Bildsamkeit eingebüsst und schwindet nicht mehr, wenn er abermals gebrannt wird.

Jene Eigenschaft des Schwindens und Reissens beim Trocknen und Brennen würde die Verwendung des Thones zur Herstellung feuerfester Körper erheblich erschweren; man nimmt sie ihm oder führt sie doch auf ein bedeutend geringeres Maass zurück, indem man ihn mechanisch mit anderen Körpern in Körnerform vermengt, welche an und für sich wie in Berührung mit dem Thone unschmelzbar sind und Magerungsmittel genannt werden.[2])

Die Wirkung dieser Magerungsmittel ist sehr einfach. Da innerhalb desselben Raumes um so weniger Thonmasse zugegen ist, je mehr Magerungsmittel man zugesetzt hatte, so wird auch die Schwindung entsprechend kleiner ausfallen. Zwischen den eingemengten Körnchen und dem sie umschliessenden Thone aber entsteht bei dem Schwinden des letzteren ein kleiner Zwischenraum; auf diese Weise erhält das Ganze eine gewisse Porosität, durch welche das Entweichen der sich bildenden Wasserdämpfe erleichtert wird, und welche zugleich die Sprödigkeit des gebrannten Thonkörpers abmindert. Derselbe erträgt deshalb auch leichter Temperaturveränderungen ohne zu reissen. Die Menge dieser Zusätze muss sich natürlich nach der Beschaffenheit des benutzten Thones richten und ist durchschnittlich um so grösser, je fetter derselbe ist. Nicht selten kann man mehr als doppelt so viel Magerungsmittel geben als die Menge des rohen Thones beträgt.

Als solche Magerungsmittel benutzt man vorwiegend folgende Körper.

Gebrannten feuerfesten Thon (Chamotte). Da derselbe, wie erwähnt, die Eigenschaft zu schwinden verloren hat, so bildet er ein vorzügliches Magerungsmittel. Derselbe wird entweder für diesen Zweck besonders hergestellt oder, was jedenfalls billiger ist, man zerkleinert die auf den Werken entstehenden Abfälle von schon benutzten feuerfesten Steinen, Tiegeln u. dergl. und benutzt sie für diesen Zweck.

Quarz. Dass derselbe mechanisch dem feuerfesten Thone beigemengt werden könne, ohne die Feuerbeständigkeit desselben erheblich zu verringern, wurde schon mehrfach erwähnt. Nicht alle Vorkomm-

---

1) Ueber die Ausführung der Untersuchung vergl. Bischof, die feuerfesten Thone. Leipzig 1876, S. 62 ff.

2) Sehr bildsamer Thon heisst fett, wenig bildsamer mager. Da jene Zusätze die Bildsamkeit verringern, heissen sie Magerungsmittel.

nisse des Quarzes aber verhalten sich in dieser Beziehung ganz gleich. Sehr geeignet sind Feuersteine. Um die erforderliche, an und für sich schwierige Zerkleinerung derselben zu erleichtern, brennt man sie in irgend einem geeigneten Apparate (z. B. einem Eisensteinsröstofen) und begiesst sie dann, während sie noch heiss sind, mit Wasser.

Kohlenstoffhaltige Körper: Graphit, Koks- oder Holzkohlenstückchen und dergleichen. Die Unschmelzbarkeit derselben macht sie zu einem in vielen Fällen sehr geeigneten Magerungsmittel. Am häufigsten wird, insbesondere für Anfertigung von feuerfesten Tiegeln, Graphit benutzt; die eigentlichen Graphittiegel bestehen oft zu zwei Drittel ihres Gewichtes aus Graphit mit einem Drittel Thon, dem unter Umständen auch noch andere Magerungsmittel schon beigemischt sind.

Bei der Auswahl des Graphits muss natürlich Sorge getragen werden, dass derselbe nicht selbst Körper enthalte, welche unter sich oder mit dem Thon leicht schmelzbare Verbindungen bilden: Alkalien, Erden, Eisenoxyd u. s. w.

Berühmt und für Schmelztiegelanfertigung geschätzt sind die Graphite von Passau in Bayern, Ceylon, Sibirien, Krumau in Böhmen.

Einige Graphite werden durch Schlämmen, andere durch Glühen für sich allein oder mit Alkalien und späteres Behandeln mit Säuren von ihren schädlichen Beimengungen befreit. Die Beschaffenheit des Graphits selbst kann nur darüber entscheiden, welcher Weg für die Reinigung der geeignetste sei.

Der mit den Magerungsmitteln versetzte und mit etwas Wasser angefeuchtete feuerfeste Thon wird entweder als sogenannte „Masse“ zum Ausstampfen der Oefen benutzt, wie oben erwähnt wurde, oder man verwendet ihn zur Herstellung feuerfester Steine (Chamottesteine) durch Einschlagen beziehentlich Pressen in Formen. Von der Gewinnung des Thones an bis zur Erlangung des fertigen feuerfesten Steines reihen sich eine grössere Zahl Arbeiten an einander, welche zum Theil die Anwendung maschineller Hilfsmittel erfordern. Der ausgegrabene Thon wird zunächst seiner Beschaffenheit nach sortirt, durch Ausklauben grösserer Stücke fremder Körper so viel als thunlich gereinigt und dann häufig längere Zeit hindurch, oft Jahre lang, den Einwirkungen der Atmosphärilien ausgesetzt, wobei manche der schädlichen Beimengungen in lösliche Salze umgewandelt und durch das Regenwasser ausgelaugt werden. Der Thon wird dann getrocknet, in einem Walzwerke oder Kollergange gemahlen und gesiebt. Hierauf folgt der Zusatz der ebenfalls entsprechend vorbereiteten Magerungsmittel und das Einsumpfen, d. h. der Zusatz von soviel Wasser, dass das Ganze die erforderliche Bildsamkeit erhält, ohne allzu feucht zu sein, und die gleichmässige Mischung. Auch für die letztere Arbeit, das gleichmässige Durcharbeiten des Thones, benutzt man in grösseren Fabriken maschinelle Vorrichtungen (Thonschneider). Die solcherart vorgerichtete Masse wird nun geformt, sei es durch Einstampfen von Hand, sei es mit Hilfe von Pressen. Hierauf folgt das Trocknen, zunächst an der Luft oder in ganz schwach (20—25° C.) erwärmten Räumen, dann in immer heisseren Räumlichkeiten, schliesslich das Brennen in besonderen Oefen.

C. Feuerfeste Materialien mit Kalkerde oder Magnesia als Grundbestandtheil.

Dieselben werden im rohen Zustande ziemlich selten verwendet. Kalkstein und Dolomit, obschon unschmelzbar, eignen sich doch nicht gut ohne Weiteres zur Benutzung als feuerfeste Materialien, da die bei ihrer Erhitzung stattfindende Kohlensäureentwickelung ein Zerfallen der Steine herbeiführen würde; Serpentin, Speckstein, Talkschiefer und ähnliche magnesiareiche Gesteine sind mitunter wohl, doch nicht häufig, als feuerfeste Materialien benutzt. Ihr Wassergehalt und das Entweichen desselben in hoher Temperatur wird immerhin ihre Verwendung für diesen Zweck erschweren.

Eine grosse Wichtigkeit dagegen haben in neuerer Zeit die sogenannten **basischen Ziegel** oder allgemein **basischen feuerfesten Materialien**, welche der Hauptsache nach aus Kalkerde und Magnesia oder auch aus Magnesia ohne Kalkerde, mitunter auch aus Kalkerde ohne Magnesia mit geringen Mengen Thonerde und Kieselsäure zu bestehen pflegen, für solche Zwecke erlangt, wo eine grosse Feuerbeständigkeit erforderlich, die Bildung einer kieselsäurereichen Schlacke aber ausgeschlossen ist und ausgeschlossen sein muss (basischer Bessemerprocess oder Thomasprocess; siehe Abtheilung III).

Es sind zahlreiche Vorschläge für die Gewinnung eines geeigneten Rohmaterials zur Herstellung dieser basischen Ziegeln sowie eines geeigneten Zusatzes als Bindemittel gemacht worden. Das einfachste und bis jetzt üblichste Verfahren beruht auf der Verarbeitung eines eisenarmen Dolomits, welcher neben ca. 45 Proc. Kohlensäure ca. 30 Proc. Kalkerde, 20 Proc. Magnesia, 1—2 Proc. Kieselsäure und ebenso viel Thonerde, daneben kleine Mengen unwesentlicher Körper zu enthalten pflegt.[1])

Der Dolomit wird zur Austreibung der Kohlensäure und des Wassers gebrannt, dann gemahlen, gesiebt und mit gekochtem Theer (auf 8 Volumina Dolomit ca. $1^1/_2$ Volumina Theer) gemischt, um ihn bildsam zu machen (Befeuchten mit Wasser zu diesem Zwecke würde selbstverständlich eine sofortige chemische Vereinigung des letzteren mit dem gebrannten Kalk zur Folge haben und die Benutzbarkeit der Masse aufheben). Dann formt man Steine daraus und brennt sie in Oefen mit hoher Temperatur.

Solche kalkerdereichen Steine nehmen beim längeren Lagern an der Luft Feuchtigkeit und Kohlensäure auf, zerfallen und werden unbrauchbar. Beim Einbauen ist aus demselben Grunde die Berührung mit Wasser sorgfältig zu vermeiden, und man muss sich flüssiger Kohlenwasserstoffe (Theer, Petroleum) statt des Wassers dabei bedienen.

Todtgebrannte Magnesia dagegen ist gegen Wasser und Kohlensäure weit weniger empfindlich und geht nur ganz allmählich bei stetiger Berührung in chemische Verbindung mit diesen Körpern. Magnesia-

---

1) Z. B. Dolomit, in Ilsede zur Herstellung basischer Ziegeln benutzt enthält:

CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CO_2	H_2O
30.12	19.21	1.35	2.05	0.26	44.97	2.00.

steine ohne erheblichen Kalkgehalt sind deshalb an der Luft weit haltbarer als jene aus Dolomit hergestellten; und in diesem Umstande würde eine triftige Veranlassung zu ihrer Herstellung und Benutzung liegen, wenn nicht die Kosten des dafür brauchbaren Rohmateriales sich erheblich höher als bei Anfertigung von Dolomitsteinen stellten.

Magnesit (in Schlesien, Euböa, Steiermark vorkommend) hat gewöhnlich den Nachtheil eines nicht unbeträchtlichen Kieselsäuregehaltes. Verschiedentlich hat man deshalb vorgeschlagen, die an und für sich ziemlich werthlosen Chlormagnesiumlaugen der Chlorkaliumfabriken auf Magnesia zu verarbeiten und diese für die Darstellung feuerfester Steine zu benutzen.

P. Clossen behandelt diese Laugen mit gebranntem Dolomit und fällt dadurch ebensowohl die Magnesia der Lauge als diejenige des Dolomits aus: $MgCl_2 + CaO, MgO = CaCl_2 + 2 MgO$. Das gefällte Magnesiumhydroxyd wird in Filterpressen abgepresst, ausgewaschen und gebrannt; die gebrannte wasserfreie Masse mit Wasser angefeuchtet und geformt.

C. Scheibler trägt gebrannten und mit Wasser angerührten Dolomit in eine Melasselösung mit 10—15 Proc. Zucker. Es entsteht hierbei löslicher Zuckerkalk, während Magnesia ausfällt. Aus der Zuckerkalklösung wird der Kalk durch Einleiten von Kohlensäure ausgeschieden, so dass dieselbe aufs Neue brauchbar wird.

Beide Methoden sind auf dem Eisenwerke zu Hörde versuchsweise eingeführt worden, scheinen jedoch bislang eine grössere Ausdehnung nicht gefunden zu haben.

Analysen basischer feuerfester Steine.

	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3 und FeO	MnO und P_2O_5
Dolomitziegel aus Duisburg[1]	55.27	35.12	5.58	1.34	2.84	0.05
Magnesitziegel aus Dux[1]	7.62	81.62	5.86	5.50 incl. Fe_2O_3 MnO und P_2O_5	—	—
Magnesitziegel von Tessié du Motay[2]	3.18	87.80	6.87	1.86 incl. Fe_2O_3	—	—
Magnesiaziegel nach Closson's Verfahren[2]	1.94	96.60	1.05 incl. Fe_2O_3 und Al_2O_3	—	—	—

D. Feuerfeste Materialien mit Eisenoxyden als Grundbestandtheil.

Als solche dienen natürlich vorkommende **Rotheisenerze**, theils in ganzen Stücken, theils in Pulverform mit etwas Thon als Bindemittel gemengt; **ausgelaugte Schwefelkiesrückstände** von der Schwefelsäuredarstellung, aus Eisenoxyd bestehend und wie die Rotheisenerze

1) Stahl und Eisen 1882, S. 120.
2) Stahl und Eisen 1881, S. 99.

benutzt; **Hammerschlag,** beim Schmieden und Walzen glühenden Eisens sich von diesem ablösend, seiner Zusammensetzung nach Eisenoxyduloxyd mit nicht immer gleichem Sauerstoffgehalte; auch wohl **Schlacken** von einigen Processen der Eisendarstellung mit reichem Eisenoxyduloxyd- und geringem Kieselsäuregehalte (Gaarfrischschlacken), in ihrem Verhalten dem Hammerschlag ähnlich.

Literatur.

A. Grössere Werke.

Die auf S. 101 genannten Werke von Gruner-Kupelwieser, Dürre und Kerl enthalten sämmtlich Abschnitte über Oefen und zum Theil über feuerfeste Materialien; am ausführlichsten sind die letzteren in der ebenfalls erwähnten Metallurgie von Percy, Bd. I, bearbeitet von Knapp, S. 211—244, beziehentlich der englischen Ausgabe dieses Werkes, behandelt.

A. Ledebur, Die Oefen für metallurgische Processe. Freiberg 1878.

Besondere Werke über feuerfeste Materialien.

Carl Bischof, Die feuerfesten Thone mit Berücksichtigung der feuerfesten Materialien überhaupt. Leipzig 1876.

Bruno Kerl, Abriss der Thonwaarenindustrie. Zweite stark vermehrte Aufl. Braunschweig 1879 (enthält einen lehrreichen Abschnitt über feuerfeste Thone und andere feuerfeste Körper, deren Gewinnung und Verarbeitung).

B. Einzelne Abhandlungen.

a. Ueber Oefen.

P. Havrez, Fours et fourneaux comparés au point de vue de l'économie, du combustible, de la main-d'oeuvre, des frais d'installation et d'entretien. Revue univ. tome XI, p. 383.

C. Schinz, Ueber den Nutzeffect und die Construction von Oefen für metallurgische und technische Zwecke. Dingl. Polyt. Journ. Bd. 159, S. 200.

L. Gruner, De l'utilisation de la chaleur dans les fourneaux des usines métallurgiques. Annales des mines, série 7, tome 8, p. 175.

E. F. Dürre, Ueber die Ausnutzung der Wärme in den Oefen der Hüttenwerke. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 220, S. 247.

P. v. Tunner, Der Gasschweissofen mit Gebläseluft, Wärmeregeneratoren und einem Condensator des Herrn Lundin zu Munkfors. Oestr. Jahrbuch, Bd. 16 (1867), S. 273.

A. Pütsch, Ueber Gasschweissöfen mit Regeneratoren, besonders über Lundin's Gasschweissofen. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 183, S. 368; Berg- und hüttenm. Ztg. 1867, S. 166 u. 317.

Resultate des Lundin'schen Schweissofens zu Munkfors. Berg- und hüttenm. Ztg. 1868, S. 179.

F. Dagmer, Der Lundin'sche Sägespän-Gasschweissofen zu Prevali. Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Kärnten 1871, Nr. 4; Berg- und hüttenm. Ztg. 1871, S. 311; Dingler's Polyt. Journ. Bd. 202, S. 352.

E. Zetzsche, Beitrag zur Geschichte der Regeneratoren. Polyt. Centralbl. 1872, S. 1441.

Hennecort, Ueber den Siemens'schen Gasregenerativofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1871, S. 403; Dingler's Polyt. Journ. Bd. 202, S. 417.

R. Åkerman, Ueber Regenerativ-Puddelöfen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1874, S. 353.

L. Gruner, Four Boëtius. Annal. d. min. série 6, t. 16, p. 291; Dingler's Polyt. Journ. Bd. 197, S. 498.

M. J. Macar, Note sur l'application du système Boëtius au puddlage. Rev. univ. 1877, t. I, p. 202; auszugsweise in Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 255.

M. L. Taskin, Notice sur le four à gaz du système Bicheroux. Rev. univ. t. 36, p. 138; Dingler's Polyt. Journ. Bd. 219, S. 220.

M. A. Raze, Note sur l'application du système Bicheroux aux fours à puddler. Rev. univ. 1877, t. I, p. 196.

M. Perissé, Note sur le four à gaz avec récupérateur de chaleur, système Ponsard. Rev. univ. t. 39, p. 131.

Ponsard's Gasofen. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 219, S. 125.

The Ponsard furnace. Iron, vol. XII, p. 342 (mit schöner Abbildung des Recuperators).

A. Holley, The Pernot furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VII, p. 241; daraus Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1879, S. 105.

b. Ueber feuerfeste Materialien.

C. Bischof, Praktische Versuche zur Bestimmung der Güte feuerfester Thone. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 159, S. 54.

C. Bischof, Die Feuerbeständigkeit der Thone nach den Resultaten synthetischer Versuche, analytischer Untersuchungen und der Erfahrungen in technischer wie mineralogischer Beziehung. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 170, S. 43.

E. Richters, Ueber die Feuerbeständigkeit der Thone. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 191, S. 59.

C. Bischof, Versuch einer empirischen in Procenten ausgedrückten Werthstellung der feuerfesten Thone. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 194, S. 420.

C. Bischof, Analyse der Normalthone, welche zur Werthstellung der feuerfesten Thone dienen. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 196, S. 431.

C. Bischof, Verfahren zur pyrometrischen Werthbestimmung kieselreicher Materialien. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 196, S. 525.

E. Richters, Die Feuerbeständigkeit der Thone betreffend; einige Bemerkungen zu den neuesten Aufsätzen Dr. Bischof's über denselben Gegenstand. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 197, S. 268.

C. Bischof, Nachtrag, meinen Versuch einer Werthstellung der feuerfesten Thone betreffend. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 198, S. 407.

T. Egleston, Refractory Materials. Engin. and Min. Journ. vol. 22, p. 103; Iron, vol. VIII, p. 297.

P. Tunner, Ueber Quarzziegel, ihre Erzeugung und Anwendung. Berg- und hüttenm. Jahrbuch der k. k. Bergakademieen zu Leoben und Přibram, Bd. XV (1866), S. 132.

J. Khern, Erfahrungen über die Fabrikation von feuerfesten Quarzziegeln. Berg- und hüttenm. Jahrbuch der k. k. Bergakademieen zu Leoben und Přibram, Bd. XV (1866), S. 156.

R. Keller, Ueber die Verwendung feuerfester Steine. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1877, S. 41.

J. Massanez, Fortschritte in der Fabrikation von basischen Ziegeln und basischen Ofenausfütterungen. „Stahl und Eisen“ 1881, S. 98.

Zeichnungen der Hütte 1870, Taf. 12 (6 Blätter, Fabrikanlage für feuerfeste Steine).

F. Lürmann, Verfahren zur Herstellung von feuerfestem Mauerwerk mit Mörtel, welcher an sich bindet. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 433.

V. Einiges über Schlacken.

1. Begriff und Constitution.

Schlacken nennt man die beim Schmelzen oder beim Glühen von Metallen erfolgenden, ihrer chemischen Zusammensetzung nach grösstentheils aus oxydirten Körpern bestehenden Nebenerzeugnisse, welche in der Temperatur des erhitzten Metalls flüssig, in gewöhnlicher Temperatur fest sind.[1])

Alle bei der Darstellung und Verarbeitung des Eisens gewonnenen Schlacken enthalten Eisen als Oxydul oder Oxyduloxyd; die Menge desselben ist jedoch nach der Art des Processes — ob Reductions- oder Oxydationsprocess stattfand — eine sehr verschiedene und schwankt von wenigen Zehntel bis nahe an 70 Proc. Einige Eisenschlacken bestehen in Wirklichkeit aus fast reinem Eisenoxyduloxyd.

Neben dem Eisen finden sich in den Eisenhüttenschlacken naturgemäss solche Körper, welche bei Reductionsprocessen schwieriger reducirbar, bei Oxydationsprocessen leichter oxydirbar als das Eisen sind. Hierher gehören Silicium (als Kieselsäure), Alkalien (selten in grösseren Mengen als 3 Proc.), alkalische Erdmetalle (unter denen sich besonders Calcium und Magnesium in oft beträchtlichen Mengen in den Schlacken finden), Aluminium (Thonerde), Mangan, unter bestimmten Verhältnissen auch Phosphor in bisweilen ansehnlichen Mengen, mit den Metallen und Sauerstoff zu Phosphaten vereinigt. Ausserdem bildet Schwefel in kleineren Mengen (bis zu etwa 3 Proc.) einen selten fehlenden Bestandtheil bestimmter Schlacken, und zwar häufiger in unmittelbarer Vereinigung mit den Metallen (Calcium, Mangan) zu Sulfiden als mit Metallen und Sauerstoff zu Sulfaten. Man vergegenwärtige sich, dass die meisten der letzteren durch hohe Temperatur unter Austreibung der Schwefelsäure zersetzt werden.

Dass neben den schon erwähnten Phosphaten auch mitunter kleine Mengen von Phosphormetallen auftreten können, ist mindestens wahrscheinlich; selten finden sich Chloride und Fluoride, welche in der Schmelztemperatur der Schlacken meistens flüchtig sind oder flüchtige Verbindungen bilden.

---

1) Aehnliche Neben- oder Zwischenerzeugnisse, die jedoch in der Eisendarstellung keine Rolle spielen, sind Steine und Speisen. Erstere bestehen ihrer Zusammensetzung nach grösstentheils aus Schwefelmetallen, letztere aus Arsen- und Antimonmetallen.

Alle jene Bestandtheile der Schlacken, insbesondere die erwähnten Oxyde, aus denen die Schlacke im Wesentlichen besteht, treten in ausserordentlich wechselnden gegenseitigen Gewichtsverhältnissen und ohne jede Rücksicht auf stöchiometrische Verhältnisszahlen neben einander auf. Hieraus folgt zunächst, dass eine Schlacke nicht aus einer einzigen bestimmten chemischen Verbindung (z. B. einem Silikate von bestimmter Formel) zu bestehen braucht, sondern als eine erstarrte Lösung verschiedener chemischer Verbindungen in einander zu betrachten ist. Dass diese Verbindungen der Hauptsache nach Sauerstoffverbindungen der Metalle und Metalloide seien, wurde schon erwähnt.

Diese Theorie hat durchaus nichts Auffälliges, wenn man erwägt, dass zahlreiche andere Körper ein gleiches Verhalten zeigen. Wasser vermag verschiedenartige Körper zu lösen und mit ihnen zu erstarren, ohne dass eine chemische Verbindung nach stöchiometrischen Verhältnissen dabei einzutreten braucht; Borax und Phosphorsalz dienen bekanntlich im geschmolzenen Zustande als vortreffliche Lösungsmittel für Oxyde der mannigfachsten Art und erstarren mit denselben zu gleichmässig zusammengesetzten „Gläsern“, gleichviel, wie gross das gegenseitige Gewichtsverhältniss ist.

Welche chemische Vereinigungen nun aber die einzelnen der in gegenseitiger Lösung sich befindenden Körper (Oxyde) unter einander eingegangen sind, darüber fehlt uns jeder sichere Nachweis, da die Analyse uns nur über die Gewichtsmengen der anwesenden einfachen Körper, beziehentlich ihrer Oxyde, Aufschluss zu geben im Stande ist.

Kieselsäurereichere Schlacken pflegt man als Gemenge verschiedener Silikate zu betrachten, deren jedes einer bestimmten chemischen Formel entspricht; und da die chemische Zusammensetzung der Schlacke nur selten gestattet, die Anwesenheit gleichartiger Silikate (d. h. Silikate mit verschiedenen Basen aber gleichem Silicirungsgrade) anzunehmen, so hat man sich mit der Annahme zu helfen gesucht, dass auch verschiedenartige Silikate (mit verschiedenem Silicirungsgrade) sich in einander zu lösen befähigt seien. Die deutliche Krystallisationsfähigkeit vieler Schlacken aber hat die in manchen metallurgischen Schriften ausgesprochene Schlussfolgerung nahe gelegt, dass krystallisirte Schlacken in allen Fällen als wirkliche chemische Verbindungen der Silikate unter einander zu betrachten seien, und man hat sich vielfach bemüht, für derartige Schlacken auf Grund der gefundenen chemischen Zusammensetzung chemische Formeln aufzustellen, welche das Verhältniss der verschiedenen in der Schlacke anwesenden Silikate zu einander nachzuweisen bestimmt sind, eben dadurch aber häufig ein ziemlich verwickeltes Ansehen bekommen.

Für den Mineralogen, welcher aus einer derartigen Formel Uebereinstimmung mit der Formel ebenso krystallisirender Mineralien erkennt und hierdurch mitunter Schlüsse auf die Genesis derselben zu ziehen befähigt wird, sind derartige Berechnungen nicht ohne Interesse; für die Praxis des Eisenhüttenbetriebes besitzen sie keinen eigentlichen Werth.

Manche Bedenken stellen sich jedoch der allgemeinen Anwendung jener Theorie entgegen. Hierher gehört zunächst der Umstand, dass

auch Lösungen beim Erstarren krystallisiren können, ohne dass ihre Bestandtheile gerade in chemischer Verbindung nach stöchiometrischen Gewichtsverhältnissen zugegen zu sein brauchen.[1]) Ferner gehört hierher die Thatsache, dass nicht nur Kieselsäure sich mit den Basen zu Silikaten zu vereinigen vermag, sondern dass auch jene Basen selbst Verbindungen unter einander eingehen können. Thonerde vereinigt sich mit Magnesia, Kalkerde, Eisenoxyd zu Aluminaten, Kalkerde und Eisenoxyd schmelzen ebenfalls zusammen. Auch für diese Verbindungen sind keineswegs stöchiometrische Gewichtsverhältnisse erforderlich. In manchen Schlacken endlich hat das Silikat eine nur untergeordnete Bedeutung; an seine Stelle ist ein Phosphat getreten oder die Schlacke besteht auch nur aus Metalloxyden (Eisenoxyden) mit sehr wenig Kieselsäure.

Welche chemischen Verbindungen der Bestandtheile unter einander in der Schlacke wirklich vorhanden sind, wird theils von der Zusammensetzung an und für sich, theils auch von der Temperatur abhängig sein, in welcher die Schlacke entstand oder welcher dieselbe nach ihrer Bildung ausgesetzt wurde. In einer Schlacke mit geringem Kieselsäure-, hohem Thonerde-, Phosphorsäure- u. s. w. Gehalte werden neben den Silikaten Aluminate, Phosphate, auch freie Oxyde vorhanden sein, einfach mit den Silikaten gemischt, in ihnen gelöst; bei hohem Kieselsäuregehalte dagegen werden jene Verbindungen zerlegt, die Oxyde mit der Kieselsäure zu Silikaten vereinigt werden, sofern die Temperatur ausreichend hoch ist. Aus einem Magnesiaaluminat entsteht ein Magnesia-Thonerde-Silikat, gelöste Oxyde gehen in chemische Verbindung, Phosphate werden zerlegt, Phosphorsäure tritt entweder unter Reduction zu Phosphormetall, sofern die Gelegenheit dazu gegeben ist, aus der Schlacke aus oder bleibt im freien Zustande in derselben gelöst.

Wo aber die Grenze des Kieselsäuregehaltes liegt, bei welcher diese Veränderungen in der Constitution der Schlacke vor sich gehen, ist unbekannt. v. Kerpely betrachtet, von praktischen Beobachtungen ausgehend, die sogenannten Singulosilikate von der allgemeinen chemischen Formel $R_2\,Si\,O_4$ beziehentlich (beim Thonerdesilikat) $\mathrm{R}_2\,Si_3\,O_{12}$ (die Benennung der Silikate ist unten ausführlicher erläutert) als Normalsilikate und nimmt an, dass die im Ueberschusse vorhandenen Basen in dem einen Falle, wie die im Ueberschusse vorhandene Kieselsäure im andern Falle, in diesem Normalsilikate gelöst sei. In einer Schlacke, welche ärmer an Kieselsäure ist als jenes Normalsilikat, zugleich aber Thonerde neben anderen Basen enthält, würden dann Aluminate neben dem Silikate vorhanden sein; in einer kieselsäurereicheren Schlacke würde die Thonerde sich in chemischer Vereinigung mit der Kieselsäure befinden; u. s. f. Immerhin aber ist, wenn man diese Theorie als richtig annehmen will, die Einschränkung erforderlich, dass die Temperatur bei der Bildung der Schlacke hoch genug sei, um die

1) Besonders deutlich zeigt sich dieses Verhalten bei verschiedenen Metallen, welche sich unter sehr mannigfaltigen Gewichtsverhältnissen zu krystallisirbaren Legirungen unter sich wie auch mit Metalloiden vereinigen können ohne Rücksicht auf ihre Atomgewichte. Antimonzinklegirungen z. B. liefern in fast allen Gewichtsverhältnissen schön ausgebildete Krystalle des rhombischen Systems.

betreffenden chemischen Vorgänge zu ermöglichen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass zwei Schlacken von gleicher chemischer Zusammensetzung doch anders „constituirt" sein und demnach auch ein anderes Verhalten zeigen können, wenn ihre Entstehungstemperaturen verschieden waren; ja, die Annahme ist keineswegs ausgeschlossen, dass in einer und derselben Schlacke bei verschiedenen Temperaturen auch verschiedene Verbindungen vorhanden sind, die bei dem Temperaturwechsel entstehen und zerfallen; dass also die Schlacke im erkalteten Zustande anders constituirt sein könne als im flüssigen.

Auf die Richtigkeit dieser zuletzt erwähnten Theorie deutet ein Vorgang, der sich auch bei anderen Lösungen häufig beobachten lässt: ein Zerfallen der im erhitzten Zustande gleichartigen Lösung unter vorzeitiger Ausscheidung einzelner Bestandtheile.[1] Manche erstarrte Schlacken lassen auf der Bruchfläche deutlich eingemengte Krystalle von anderer Farbe u. s. w. erkennen; häufiger noch gewahrt man die Anwesenheit solcher vorzeitig auskrystallisirten Bestandtheile mit Hilfe des Mikroskopes, mit welchem man feine Splitterchen der Schlacken oder, besser noch, Dünnschliffe derselben untersucht (vergl. die unter „Literatur" erwähnte Abhandlung von H. Vogelsang).

2. Eintheilung und Benennung.

Ihrer allgemeinen chemischen Zusammensetzung nach würde man die Schlacken eintheilen können in

Silikatschlacken mit dem ausgeprägten Charakter eines Silikats;

Phosphatschlacken, in welchen die Kieselsäure zum grösseren Theile durch Phosphorsäure ersetzt ist, und

Oxydschlacken, in welchen nur verhältnissmässig unbedeutende Mengen von Kieselsäure oder Phosphorsäure auftreten und Oxyde der Metalle, insbesondere der Schwermetalle (Eisen und Mangan), den Hauptbestandtheil ausmachen.

Es versteht sich von selbst, dass auch, wenn man diese Eintheilung im Allgemeinen festhalten will, doch zahlreiche Uebergänge von der einen zur andern Gattung zu beobachten sein werden. Ganz reine Phosphat- oder Oxydschlacken kommen in der Praxis überhaupt kaum vor; Silikatschlacken, wenn auch selten ganz rein[2], sind unter allen die häufigsten.

Da nun von dem Kieselsäuregehalte dieser Silikatschlacken wesentlich ihr chemisches und physikalisches Verhalten bei den verschiedenen Schmelzprocessen abhängt, so ist man von Alters her gewöhnt, sie gemäss diesem Kieselsäuregehalte in verschiedene Silicirungsstufen — Classen — mit bestimmten Benennungen einzutheilen.

Die Bestimmung des Silicirungsgrades lässt sich am einfachsten bewirken, indem man den Sauerstoffgehalt der bei der Analyse ge-

---

1) Bei den Legirungen nennt man dieses Zerfallen der Legirung in mehrere abweichend zusammengesetzte und bei verschiedener Temperatur erstarrende Legirungen: Saigern.

2) Auch die von Phosphaten und schweren Metalloxyden freien Silikatschlacken (z. B. Hochofenschlacken) enthalten häufig Sulfide in Mengen bis zu einigen Procenten.

fundenen Kieselsäure dem Sauerstoffgehalte sämmtlicher Basen gegenüberstellt.[1]) Man erhält dann, wenn man mit R O allgemein die in der Schlacke anwesenden Monoxyde (Ca O, Mg O, Fe O, Mn O u. s. w.), mit $R_2 O_3$ Thonerde und Eisenoxyd bezeichnet, folgende Formeln und Benennungen:

Trisilikat. Der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure ist dreifach so gross als der der Basen.

Dualistische Formel:

$2 R O, 3 Si O_2$ beziehentlich $2 R_2 O_3, 9 Si O_2$.

Molekularformel:

$R_2 Si_3 O_8$ beziehentlich $R_4 Si_9 O_{24}$.

Bisilikat. Der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure ist doppelt so gross als der der Basen.

Dualistische Formel:

$R O, Si O_2$ beziehentlich $R_2 O_3, 3 Si O_2$.

Molekularformel:

$R Si O_3$ beziehentlich $R_2 Si_3 O_9$.

Sesquisilikat. Der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure ist anderthalbfach so gross als der der Basen.

Dualistische Formel:

$4 R O, 3 Si O_2$ beziehentlich $4 R_2 O_3, 9 Si O_2$.

Molekularformel:

$R_4 Si_3 O_{10}$ beziehentlich $R_8 Si_9 O_{30}$.

Singulosilikat. Der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure ist gleich dem Sauerstoffgehalte der Basen.

Dualistische Formel:

$2 R O, Si O_2$ beziehentlich $2 R_2 O_3, 3 Si O_2$.

Molekularformel:

$R_2 Si O_4$ beziehentlich $R_4 Si_3 O_{12}$.

Subsilikat. Der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure ist zweidrittel so gross als derjenige der Basen.

Dualistische Formel:

$3 R O, Si O_2$ beziehentlich $R_2 O_3, Si O_2$.

Molekularformel:

$R_3 Si O_5$ beziehentlich $R_2 Si O_5$.

---

1) Um den neueren Theorien der Chemie bei der Classificirung der Schlacken Rechnung zu tragen, schlug v. Kerpely vor, die sogenannten Werthigkeiten der anwesenden Radikale als Eintheilungsmittel zu benutzen. Das Verhältniss der Werthigkeiten der gefundenen Kieselsäure zu der Summe der Werthigkeiten aller metallischen Radikale ergiebt den Silicirungsgrad. Vergl. dessen unter „Literatur“ citirte Abhandlung.

Kieselsäurereichere Schlacken als Trisilikate kommen in den Eisenhütten nicht vor; kieselsäureärmere als Subsilikate dagegen (Oxydschlacken) sind nicht selten.

Dass die Zusammensetzung einer in der Praxis entstandenen Schlacke genau einer der obigen Formeln nur ausnahmsweise entsprechen wird, wurde bereits oben angedeutet; der Silicirungsgrad jeder Schlacke lässt sich jedoch mit einer für die Zwecke der Praxis ausreichenden Genauigkeit bezeichnen, indem man angiebt, welcher der Formeln die Schlacke ihrer Zusammensetzung nach nahe oder zwischen welchen beiden sie in der Mitte steht.

3. Schmelztemperatur und Flüssigkeitsgrad.

Für die Durchführung der Processe, bei welchen Schlacken entstehen, ist die **Schmelztemperatur** derselben eine Eigenschaft von hoher Wichtigkeit, und nicht selten ist der Fall, dass die Durchführung jenes Processes unmöglich oder doch erheblich erschwert wird, wenn die Schmelztemperatur der betreffenden Schlacke zu hoch oder zu niedrig liegt.

Dennoch kennen wir über das Verhalten der Schlacken in dieser Beziehung wenig mehr als ganz allgemeine Regeln. Dieser Mangel findet eine triftige Entschuldigung in dem Umstande, dass jede Aenderung in der Zusammensetzung der Schlacken, jedes Hinzutreten eines neuen Körpers auch die Schmelztemperatur ändert; und die Combinationen, welche sich aus den verschiedenen schlackenbildenden Körpern in den verschiedenen Gewichtsmengen zusammenstellen lassen, sind zahllos. Ermittelt sind nur die Schmelzpunkte einiger binären, d. h. aus Kieselsäure und einer Base bestehenden Silikate; sobald aber ein dritter Körper hinzutritt, ändert sich auch der Schmelzpunkt.

Untersuchungen über die Schmelztemperaturen der Schlacken, insbesondere der Silikate, sind von Berthier, Plattner, Percy, Sefström, Schinz, Bischof u. A. angestellt worden; und wenn auch die von einzelnen der genannten Forscher gefundenen Zahlenwerthe anfechtbar sind[1]), so lassen sie doch immerhin Schlüsse über das Verhalten der verschiedenen Silikate im Allgemeinen zu, welche nicht ohne Wichtigkeit sind.

Es ergiebt sich aus jenen Arbeiten Folgendes:

1. Die Schmelztemperatur eines bereits gebildeten Silikats liegt häufig oder gewöhnlich tiefer als die Entstehungstemperatur desselben.[2]) Schon bei Besprechung der

---

1) So z. B. wurden von Plattner zahlreiche Temperaturbestimmungen ausgeführt, welche zwar Jahrzehnte hindurch als maassgebend angesehen wurden, bei der Unzuverlässigkeit der damaligen Mittel für Messung hoher Temperaturen jedoch nachweisbare erhebliche Irrungen in sich schliessen. Die von Plattner gefundenen Werthe sind später theilweise berichtigt durch Erhard und Schertel; vergl. Literatur.

2) Dieser von Plattner zuerst aufgestellte Lehrsatz ist von Schinz angefochten worden, hat jedoch nach meiner Ueberzeugung, die auf Beobachtungen in der Praxis sich stützt, seine vollständige Richtigkeit. Auch Bischof bestätigt in seinen Arbeiten über feuerfeste Thone die Richtigkeit.

feuerfesten Materialien wurde von diesem Lehrsatze Anwendung gemacht zur Erläuterung für den Umstand, dass feuerfeste Thone von scheinbar gleicher chemischer Zusammensetzung doch verschiedene Schmelztemperaturen besitzen können, je nachdem ihre Kieselsäure mechanisch beigemengt oder chemisch gebunden ist.

2. Die Schmelztemperatur der Schlacken liegt durchschnittlich um so tiefer, je grösser die Zahl der in ihnen vertretenen Körper ist. Auch dieses Lehrsatzes wurde bei Besprechung der feuerfesten Materialien bereits erwähnt.

Es folgt hieraus, dass ein Kalkerdesilikat im Allgemeinen leichter schmelzbar wird, wenn Magnesia, Thonerde u. s. w. hinzutreten. Besonders kräftig in dieser Beziehung wirken Alkalien, Eisenoxydul, Manganoxydul, Calciumfluorid (Flussspath); d. h. verhältnissmässig kleine Mengen dieser Körper vermögen die Schmelztemperatur einer aus anderen Bestandtheilen zusammengesetzten Schlacke erheblich zu erniedrigen.

Naturgemäss muss, sobald die Menge der neu hinzutretenden Körper sich über ein gewisses Maass hinaus steigert, bei welchem das Minimum der Schmelztemperatur liegt, ein fernerer Zusatz entweder wirkungslos bleiben oder den entgegengesetzten Erfolg — eine Steigerung der Schmelztemperatur — hervorrufen. Bei den zahllosen zu ermöglichenden Zusammenstellungen der hier in Betracht kommenden Körper — in qualitativer und quantitativer Beziehung — ist unsere Kenntniss, wo in einem bestimmten Falle jene Grenze liegt, sehr dürftig.

Beobachtungen in der Praxis lehren, dass die erwähnte Grenze ziemlich rasch erreicht wird, wenn der zu einer Schlacke, insbesondere zu einem Silikate, hinzutretende Körper aus Thonerde besteht; ebenfalls ziemlich rasch, wenn Magnesia hinzutritt. Kleinere Mengen von Thonerde, Magnesia u. s. w. erniedrigen also die Schmelztemperatur eines Kalkerde- oder andern Silikats; grössere Mengen dieser Körper steigern dieselbe.

Ein thonerdehaltiges Kalkerdesilikat soll nach Bodemann's Angabe[1]) am leichtesten schmelzen, wenn es aus 56 Thln. Kieselsäure, 30 Thln. Kalkerde, 14 Thln. Thonerde, also aus einem Bisilikate besteht, dessen Zusammensetzung annähernd der Formel $4 CaSiO_3 + Al_2Si_3O_9$ entsprechen würde. Berthier fand, dass alle kalk- plus thonerdehaltigen Silikate die niedrigste Schmelztemperatur besitzen, wenn die Menge der anwesenden Thonerde ungefähr ein Drittel von der Menge der Kalkerde beträgt[2]); dass mit der Zunahme des Kalkerdegehaltes die Schmelztemperatur nur sehr allmählich, mit der Zunahme des Thonerdegehaltes ziemlich rasch steigt, derartig, dass Silikate mit dem Verhältnisse der Thonerde zur Kalkerde wie 2 : 3 (1 Aequ. Thonerde : 3 Aequ. Kalkerde) noch schmelzbar, mit dem Verhältnisse 4 Gewichtstheile Thonerde auf 3 Gewichtstheile Kalkerde (2 Aequ. Thonerde : 3 Aequ. Kalkerde) fast unschmelzbar seien.

---

1) Bodemann, Probirkunst, 2. Aufl., Clausthal 1857, S. 251.
2) Nach Berthier: 1 Aequivalent Thonerde auf 6 Aequivalente Kalkerde; also 336 Gewichtstheile Thonerde auf 103 Gewichtstheile Kalkerde.

Wenn auch derartigen Versuchen, wie schon die Abweichung in den von verschiedenen Forschern erlangten Ergebnissen erkennen lässt, eine unbedingte Zuverlässigkeit nicht beizumessen ist, so lassen sie doch erkennen, dass die erwähnten Silikate sowohl bei einem zu hohen als zu niedrigen Thonerdegehalte strengflüssiger sind, als wenn derselbe einen gewissen Bruchtheil des Kalkerdegehaltes — etwa ein drittel bis ein halb — ausmacht.

Ersetzt man in den erwähnten Silikaten einen Theil der Kalkerde durch eine äquivalente Menge Magnesia, so lässt sich hierdurch die Schmelztemperatur erniedrigen; aber praktischen Beobachtungen zufolge wird die Grenze ziemlich rasch erreicht, wo eine fernere Anreicherung des Magnesia- und Abminderung des Kalkerdegehaltes eine Steigerung statt Erniedrigung der Schmelztemperatur zuwege bringt. Im Uebrigen wird die Silicirungsstufe der Schlacke hierbei nicht ohne Einfluss sein.

3. Die in den Schlacken der Eisenhütten auftretenden einfachen Oxyde (Kieselsäure, Thonerde, Kalkerde, Magnesia, Eisenoxyde u. s. w.) sind meistens an und für sich unschmelzbar. Unter den verschiedenen vorkommenden Silikaten besitzen durchschnittlich diejenigen die niedrigsten Schmelztemperaturen, deren Zusammensetzung annähernd derjenigen eines Bisilikats entspricht oder zwischen Singulo- und Bisilikat steht; mit steigendem Kieselsäure- wie mit steigendem Basengehalte nimmt die Schmelztemperatur zu.

Es liegen hierüber folgende Versuchsergebnisse vor:

Unter den Kalkerdesilikaten ist das Bisilikat am leichtesten schmelzbar; mit steigendem Kalkerde- wie mit steigendem Kieselsäuregehalte steigt auch die Schmelztemperatur. Das Singulo- wie das Trisilikat schmelzen nur in sehr hoher Temperatur; das Subsilikat ist in unseren Oefen kaum schmelzbar.

Magnesiasilikate sind sämmtlich strengflüssig und ähneln in dieser Beziehung den Thonerdesilikaten, zeigen unter sich aber keine so deutlichen Unterschiede als die Kalkerdesilikate. Nach Berthier's und Percy's Versuchen scheint das Trisilikat das am wenigsten strengflüssige zu sein, Bischof dagegen fand gerade dieses strengflüssiger als die kieselsäureärmeren.

Unter den Kalkerde-Magnesiasilikaten mit gleichen Aequivalenten Kalkerde und Magnesia (Gewichtsverhältniss der Kalkerde zur Magnesia wie 1.4 : 1) ist nach Berthier's Versuchen das Bisilikat am leichtesten schmelzbar, das Trisilikat sehr strengflüssig.

Thonerdesilikate sind sämmtlich sehr schwierig schmelzbar. Das Verhalten der Thonerde-Kalksilikate wurde bereits oben erwähnt.

Eisenoxydulsilikate schmelzen durchschnittlich in niedrigerer Temperatur als die bisher besprochenen. Das Singulo- und Bisilikat sind am leichtflüssigsten.

Eisenoxydsilikate sind weit strengflüssiger als die Oxydulsilikate. Berthier erhielt weder bei dem Singulo- noch bei dem Bisilikat eine

Schmelzung. Silikate, in welchen beide Oxydstufen vorkommen, scheinen ihrem Verhalten nach, soweit Beobachtungen in der Praxis eine Schlussfolgerung zulassen, zwischen jenen sich einzureihen und um so strengflüssiger zu sein, je höher ihr Oxydgehalt ist.

Manganoxydulsilikate schmelzen in verhältnissmässig niedriger Temperatur und verhalten sich ähnlich wie die Eisenoxydulsilikate. Auch das Subsilikat wie das Trisilikat sind ohne Schwierigkeit schmelzbar.

Ein Titansäuregehalt der Schlacken vermag, sofern er einigermaassen beträchtlich ist, die Strengflüssigkeit der Schlacken erheblich zu erhöhen. Vermuthlich ist der Einfluss stärker in kieselsäure- und thonerdereichen Schlacken als in kalkerdereichen; genauere Untersuchungen hierüber liegen nicht vor. Der Fall kommt vor bei Verhüttung gewisser titansäurehaltiger Roth- und Magneteisenerze.

Eine ihrem Wesen nach mit der Schmelzbarkeit verwandte, doch aber wesentlich andere Eigenschaft ist der Flüssigkeitsgrad oder die Dünnflüssigkeit geschmolzener Körper. Die in niedrigerer Temperatur schmelzbaren Körper sind keineswegs immer die dünnflüssigeren. Je allmählicher der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand stattfindet, desto weniger dünnflüssig pflegt der geschmolzene Körper zu sein.

Schlacken, welche allmählich erweichen, dabei einen bildsamen Zustand durchlaufend, in welchem sie sich wie erhitztes Glas in Formen drücken und zu langen Fäden ausziehen lassen, nennt man saiger; hierher gehören vornehmlich die kieselsäurereicheren Schlacken (Trisilikate), zumal, wenn sie zugleich Thonerde und Magnesia enthalten. Ein grosser Magnesiagehalt giebt den kieselsäurereichen Schlacken eine eigenthümliche klebrige Beschaffenheit.

Schlacken, welche ihren Aggregatzustand plötzlich wechseln und im geschmolzenen Zustande dünn fliessen, heissen frisch. Hierher gehören vornehmlich alle kalkerdereichen Schlacken, auch wenn ihre Schmelztemperatur wegen des geringen Kieselsäuregehaltes hoch liegt; ferner die eisenoxydul- und manganoxydulhaltigen Schlacken; u. a. m. Schon ein Gehalt von wenigen Procenten Eisen- oder Manganoxydul in übrigens saigeren Schlacken steigert beträchtlich deren Dünnflüssigkeit.

4. Structur.

Der Beschaffenheit der Bruchfläche gemäss kann man glasige Schlacken, derbe oder steinige Schlacken und krystallinische, beziehentlich krystallisirte Schlacken unterscheiden.

Auf die Entstehung der Structur wirken theils die chemische Zusammensetzung theils die Abkühlungsverhältnisse.

Glasige Beschaffenheit erhalten nur die kieselsäurereicheren Schlacken bei nicht allzu verlangsamter Abkühlung. Einen Uebergang zwischen den glasigen zu den steinigen Schlacken, jedoch den ersteren näher stehend, bilden die sogenannten Emailschlacken, schwach durchscheinend, hell gefärbt, mit reicherem Gehalte an Erden.

Langsame Abkühlung verwandelt eine glasige Schlacke in eine steinige oder krystallinische.

Daher gewahrt man nicht selten auf der Bruchfläche grösserer erstarrter Schlackenklumpen verschiedene Structuren neben einander; äusserlich, wo rasche Abkühlung stattfand, glasige, im Innern krystallinische.

Schlacken, welche auch bei rascher Abkühlung steinige Beschaffenheit behalten, pflegen reich an Erden zu sein. Bei grossem Gehalte an Eisenoxyd entsteht eine derbe, dichte, mehr metall- als steinartige Bruchfläche.

Eigentliche, ausgebildete Krystalle entstehen nur bei allmählicher Abkühlung in den Drusenräumen, welche im Innern grösserer Schlackenstücke sich bilden. Nicht alle Schlacken jedoch krystallisiren mit derselben Leichtigkeit. Sehr kieselsäurereiche Schlacken z. B. liefern selten ausgebildete Krystalle, ein Umstand, der mit der leichten Entstehung ihrer glasigen Beschaffenheit und ihrem allmählicheren Uebergange aus einem Aggregatzustande in den andern in nahem Zusammenhange steht. Eisenoxydulreiche Schlacken krystallisiren dagegen leicht; schön ausgebildete Krystalle finden sich auch in manchen zwischen Singulo- und Bisilikat stehenden Schlacken der Erden.

Dass dagegen häufig einzelne Bestandtheile der Schlacken sich im krystallisirten Zustande inmitten der nichtkrystallisirenden Grundmasse beim Erstarren ausscheiden und hier in Dünnschliffen mit Hilfe des Mikroskops deutlich erkennbar sind, wurde schon oben hervorgehoben.

Einzelne stark kalkerdereiche und thonerdearme Schlacken (Subsilikate) zerfallen beim Erstarren oder — bei etwas geringerem Kalkgehalte — einige Zeit nachher zu Pulver und würden demnach ihrer Structur nach als Pulverschlacken zu bezeichnen sein. Die Ursache dieses Verhaltens liegt in der Einwirkung der Feuchtigkeit und der Kohlensäure der atmosphärischen Luft. Wie beim Löschen und späteren Erhärten des gebrannten Kalkes entsteht zunächst Calciumhydroxyd, dann Carbonat. Die stark basische Beschaffenheit der Schlacken wie das starke Bestreben des Calciumoxyds (der Kalkerde), jene Verbindungen einzugehen, erklärt ausreichend diesen Vorgang. Enthält eine solche Schlacke Schwefelcalcium, so wird auch dieses unter dem Einflusse der Atmosphärilien zersetzt; Schwefelwasserstoff entweicht, Calciumsulfat wird gebildet und freier Schwefel ausgeschieden.[1]

Viele saigere Schlacken haben die Eigenschaft, beim Begiessen mit Wasser im flüssigen Zustande sich aufzublähen und vollständig poröse, bimssteinartige Structur anzunehmen (Bimssteinschlacken).

---

1) Man erklärt die Zersetzung folgendermaassen: Zunächst entsteht einestheils Calciumcarbonat neben Schwefelwasserstoff:

$$CaS + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + H_2S;$$

andererntheils Calciumcarbonat neben unterschwefligsaurem Calcium:

$$2\,CaS + 4\,O + CO_2 = CaCO_3 + CaS_2O_3;$$

das gebildete unterschwefligsaure Calcium verwandelt sich unter Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes in schwefelsaures Calcium (Calciumsulfat) und freien Schwefel:

$$CaS_2O_3 + O = CaSO_4 + S.$$

Man benutzt dieses Verhalten wohl zur Darstellung des künstlichen Bimssteins, welcher als Schleifmittel für Holz benutzt wird. Auch hierbei wird vorhandenes Schwefelcalcium zersetzt, und derartige Bimssteinschlacken lassen oft noch nach vielen Jahren einen deutlich wahrnehmbaren Geruch nach Schwefelwasserstoff erkennen.

Ein Eisenoxydulgehalt der Schlacke von wenigen Procenten hebt diese soeben beschriebene Eigenschaft auf.

5. Farbe.

Ausserordentlich mannigfaltig sind die Färbungen der in den Eisenhütten dargestellten Schlacken. Zwischen dem fast reinen Porzellanweiss bis zum Tiefschwarz sind fast alle Farbentöne in Blau, Grün, Violett, Roth u. s. w. vertreten. Selten kommen rein gelbe Schlacken vor; deutlich rothe Schlacken finden sich mitunter, sind aber ebenfalls selten; am häufigsten sind grünliche und schwarze Schlacken.

Wie die Structur ist die Farbe der Schlacken theils eine Folge der chemischen Zusammensetzung, theils der Abkühlungsverhältnisse. Eine und dieselbe Schlacke kann vollständig verschiedene Färbung erhalten, je nachdem sie rasch abgekühlt wird und dabei glasige Structur erhält oder je nachdem sie bei verzögerter Abkühlung mit krystallinischer Bruchfläche erstarrt. So findet man nicht selten Schlacken mit grüner, glasig erstarrter Rinde und violettgrauem, krystallinischem Kern; oder violetter Kruste und weisslichgrauem Kern, u. s. f.; aber die chemische Zusammensetzung der Rinde ist die nämliche wie die des Kerns. Auch entstandene Krystalle besitzen nicht selten eine wesentlich andere Farbe als die Grundmasse, aus der sie entstanden.

Die Einflüsse, welche die verschiedenen Bestandtheile der Schlacke auf ihre Färbung ausüben, sind nur zum Theil bekannt.

Schlacken, welche frei sind von Eisen- und Manganoxyden, also nur aus Silikaten der Erden bestehen, haben durchgängig helle, weissliche Farben.

Ein Eisenoxydulgehalt ertheilt schon in geringen Mengen *grünliche Färbung*, welche besonders in Bi- und Trisilikaten deutlich hervortritt. Steigt der Eisengehalt, so wird die Schlacke *schwarz*.

Manche Schlacken zeigen auch schon bei geringem Eisenoxydulgehalte schwarze Färbung; in diesem Falle pflegt Schwefel neben dem Eisen zugegen zu sein, und darf als wahrscheinliche Ursache der Färbung betrachtet werden.

Ein Manganoxydulgehalt neben Eisenoxydul ruft *gelblichgrüne* Farbentöne (gurkengrün, olivengrün) hervor, *sofern kein Schwefel in erheblichen Mengen zugegen ist*; sehr manganreiche Schlacken, im flüssigen Zustande der Luft ausgesetzt, laufen äusserlich schwarz an und überziehen sich mit einem irisirenden Häutchen.

Ein mässiger Mangangehalt neben wenig oder gar keinem Eisenoxydul ruft in kieselsäurereicheren Schlacken *bei Anwesenheit von Schwefel*, soweit meine eigene Beobachtung reicht, *blaue* Farbentöne hervor.[1])

---

1) Dass möglicherweise die schöne blaue Farbe mancher Eisenhüttenschlacken (Hochofenschlacken) auch noch anderen Ursachen entstammen könne, soll nicht be-

6. Specifisches Gewicht.

Dasselbe bewegt sich gemäss der verschiedenen chemischen Zusammensetzung der Schlacken innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Am schwersten sind naturgemäss die an schweren Oxyden reichsten Schlacken (Eisenoxydschlacken), deren specifisches Gewicht bis 5.0 steigen kann, während die erdigen Schlacken, besonders die an Kieselsäure reicheren (Trisilikate) oft nur ein specifisches Gewicht von 2.5 — 3.0 besitzen.

Literatur.

A. Grössere Werke.

Percy-Knapp, Metallurgie, S. 22—51, sowie die schon früher erwähnte englische Ausgabe (2. Auflage) von Percy, Metallurgy.[1])

B. Kerl, Grundriss der Allgemeinen Hüttenkunde, S. 390—410. Leipzig 1879.

K. C. v. Leonhard, Hüttenerzeugnisse und andere auf künstlichem Wege gebildete Mineralien als Stützpunkte geologischer Hypothesen. Stuttgart 1858. (Empfehlenswerthe Lectüre zum Studium der Structur, Krystallisation u. s. w.)

P. Berthier, Traité des essais par la voie sèche. Paris 1848.

B. Abhandlungen.

Sefström, Versuche über die Bildung und Eigenschaften der in den Eisenhochofenschlacken vorkommenden Verbindungen und deren Einfluss bei der Roheisenerzeugung. Erdmann's Journal für technische und ökonomische Chemie, Bd. X (1831), S. 145; aus Jern-Contorets Annaler Jahrgang 12.

P. Berthier, Ueber das Verhalten einiger Mischungen von Erden und anderen Basen im Feuer, besonders über die künstliche Darstellung einiger Silikate und Aluminate. Erdmann's Journal für praktische Chemie Bd. IV, S. 457; Bd. V, S. 273.

C. Fr. Plattner, Ueber die Bestimmung der Schmelzpunkte mehrerer Hüttenproducte und der Hitzgrade, bei denen sich verschiedene Silikate bilden. Beilage zu dem Werke von F. Th. Merbach: die Anwendung der erwärmten Luft im Gebiete der Metallurgie. Leipzig 1840.

C. Rammelsberg, Beiträge zur Kenntniss der Hochofenschlacken. Poggend. Annalen, Bd. 74, S. 95; Berg- u. hüttenm. Ztg. 1848, S. 477.

C. Bischof, Relative Schmelzbarkeit der Silikate des Eisens, des Kalks, der Magnesia und der Thonerde. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 165, S. 378.

Th. Erhard und A. Schertel, Die Schmelzpunkte der Prinsep'schen Legirungen und deren pyrometrische Verwendung. Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, S. 154. (Enthält Berichtigungen der von Plattner gefundenen Schmelztemperaturen der Schlacken u. s. w.)

M. J. Fournet, Sur la cristallisation des silicates vitreux et sur la couleur bleue des laitiers. Annales de chimie et de physique. Série III, tome IV (1842), p. 370.

---

stritten werden. Gerade diese Farbe hat schon Veranlassung zu vielfachen Untersuchungen gegeben, ohne dass vollständige Aufklärung erreicht worden wäre. Häufig hat man die Anwesenheit von Titansäure in den Schlacken als die Ursache der Blaufärbung angesehen. Vergl. hierüber die gegebenen Literaturnachweise.

1) Enthält die von Percy, Berthier, Plattner u. a. erhaltenen Versuchsergebnisse in grosser Ausführlichkeit.

H. Vogelsang, Ueber die mikroskopische Structur der Schlacken und über die Beziehungen der Mikrostructur zur Genesis der krystallinischen Gesteine. Poggend. Annalen Bd. 121, S. 101; Berg- und hüttenm. Ztg. 1864, S. 236.

E. Mène, Ueber die blaue Färbung der Eisenhochofenschlacken. Dingl. Polyt. Journal Bd. 182, S. 469; aus den Comptes rendus t. LXIII, p. 608.

W. Muirhead, Formation of aluminates in the blast furnase slags. Iron, vol. XVI, p. 292; Revue univers. 1880, t. VIII, p. 594; Ztschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 28, S. 641.

A. Kerpely, Molekular-Formeln der Schlacken. Berg- und hüttenm. Ztg. 1872, S. 201.

VI. Die Erze nebst Zuschlägen und ihre Vorbereitung für die Verhüttung.

1. Die Erze.

Eisenerze nennt man die in der Natur vorkommenden Verbindungen des Eisens mit anderen Körpern, welche ihres Eisengehaltes halber als Rohmaterialien für die technische Darstellung des Eisens benutzt werden.

Gediegenes Eisen findet sich überhaupt nur in seltenen Ausnahmen, die für den Eisenhüttenmann eine praktische Wichtigkeit nicht besitzen. So z. B. bestehen die Meteorsteine zum grössten Theil aus metallischem Eisen (neben Kobalt, Nickel und einigen anderen Körpern); auf Disco in Nordgrönland fand Nordenskiöld 1870 grössere Mengen gediegenen Eisens.

Damit aber die Benutzung jener eisenhaltigen Gesteine als Eisenerze möglich sei, dürfen sie erstens nicht solche fremde Körper enthalten, welche die Abscheidung des Eisens bei der Verhüttung in einer Weise erschweren würden, dass die Benutzung dieser Gesteine als Erze dadurch unmöglich wird; und zweitens muss ihr Eisengehalt ein solcher sein, dass ihre Verarbeitung auf Eisen auch in ökonomischer Beziehung noch als nutzenbringend erscheinen kann.

Die Grenze des Eisengehaltes, welche nicht unterschritten werden darf, wenn die zuletzt erwähnte Bedingung erfüllt werden soll, ist nun freilich theilweise von örtlichen Verhältnissen abhängig. Je niedriger der Preis des Erzes an dem Orte der Verhüttung (also incl. der Frachtkosten) sich stellt, je geringer auch die übrigen Verhüttungskosten (Brennstoffe, Löhne u. s. w.) sind, desto geringer wird der Eisengehalt zu sein brauchen, ohne dass das Gestein seine Eigenschaft als eigentliches Eisenerz einbüsse. Auch die Beschaffenheit der übrigen, dem Erze gewöhnlich beigemengten Gesteine spricht hierbei mit. Einzelne derselben erfordern, um in eine schmelzbare Schlacke umgewandelt zu werden, beträchtliche Mengen fremder „Zuschläge“, andere sind ohne

solche Zuschläge schmelzbar. Letztere werden auch schon bei niedrigerem Eisengehalte als erstere noch als schmelzwürdig erscheinen.

Erze mit einem Eisengehalte von weniger als 30 Proc. pflegt man im Allgemeinen nicht gern zu verhütten; doch finden sich allerdings Eisenwerke, welche noch mit Erzen von 25 Proc. Eisengehalt vortheilhaft arbeiten. Sind die fremden, dem Eisen beigemengten Gesteinsarten derartig beschaffen, dass durch Vermischung mehrerer Erze eine Schlacke von entsprechender Schmelzbarkeit entsteht, also die Anwendung eigentlicher Zuschläge, d. i. eisenfreier, nur zum Zwecke der Schlackenbildung zugesetzter Gesteine entbehrlich wird, so kann mitunter auch ein noch geringerer Eisengehalt ausreichend sein, jene Gesteine als „Erze“ erscheinen zu lassen. Sie bilden alsdann den Uebergang zu den sogenannten eisenhaltigen Zuschlägen, d. h. Gesteinen, welche zwar lediglich der Schlackenbildung halber den Erzen zugesetzt werden, doch aber einen gewissen, wenn auch nicht sehr bedeutenden, Eisengehalt (bis etwa 15 Proc.) mitbringen, welcher bei der Verhüttung nutzbar wird.

Neben den eigentlichen Eisenerzen haben in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts, insbesondere seit Anfang der siebenziger Jahre, für den Eisenhüttenmann auch Manganerze eine gewisse Bedeutung gewonnen. Sie sind zur Darstellung manganreicher Eisenlegirungen (Ferromangane, Rohmangane) erforderlich und sollen deshalb in Folgendem neben den Eisenerzen besprochen werden.

Fast sämmtliche Eisenerze bestehen aus Oxyden, Hydroxyden oder Carbonaten des Eisens.

Die in der Natur vorkommenden Schwefelverbindungen des Eisens (Kiese) können als Erze nicht betrachtet werden; denn obgleich man die bei der Röstung derselben für die Darstellung von Schwefelsäure hinterbleibenden Rückstände nach stattgehabtem Auslaugen nicht selten in den Eisenhütten auf Eisen verarbeitet, so bleibt doch die Darstellung der Schwefelsäure immerhin der Hauptzweck ihrer Gewinnung und Verarbeitung, und die Eisendarstellung aus denselben ist nebensächlich.

Natürlich vorkommende Silikate des Eisens werden, da sie sehr schwierig reducirbar und auch nicht gerade häufig sind, nur in seltenen Ausnahmen als Eisenerze benutzt. Dagegen bilden manche eisenreiche Schlacken, welche bei der Verarbeitung des Eisens selbst entstehen und als künstlich dargestellte Eisensilikate zu betrachten sind, ein häufig benutztes Material, um das Eisen daraus auf hüttenmännischem Wege wieder zu gewinnen. Als „Erze“ im eigentlichen Sinne aber können dieselben nicht bezeichnet werden, sondern sie sind, ebenso wie die erwähnten Schwefelkiesrückstände, Nebenerzeugnisse eines anderen technischen Processes.

A. Die Spatheisensteine (Eisenspathe).

Diese Erzgattung, jedenfalls durch Ablagerung von Eisen, welches in kohlensäurehaltigem Wasser gelöst war, entstanden und eine der primären Entstehungsformen aller Erze bildend, würde im reinen und

unzersetzten Zustande aus Eisencarbonat $F Ce O_3$ mit 48.2 Proc. Eisen (61.9 Proc. Fe O) bestehen; fast regelmässig jedoch enthält das Erz neben dem Eisencarbonate kleinere oder grössere Mengen von isomorphen Carbonaten des Mangans, Calciums oder Magnesiums, und der gesammte Eisengehalt des Erzes ist daher stets niedriger, als derselbe obiger Formel gemäss sein müsste.

Der Spatheisenstein krystallisirt rhomboedrisch, theils grob- theils feinkörnig oder derb. Selten erscheint er in trauben- oder nierenförmigen Bildungen und wird dann bisweilen Sphärosiderit (im engeren Sinne) genannt. Die Farbe des frischen, unzersetzten Erzes ist gelblich weiss (Weisserz, unreifer Eisenspath); an der Luft aber und unter dem Einflusse der Feuchtigkeit verwandelt es sich theilweise in Eisenhydroxyd und nimmt dabei allmählich eine dunkle, braune, auch wohl blauschwarze Farbe an (Braunerz, Blauerz, reifer Eisenspath).

Der Spatheisenstein tritt in häufig sehr mächtigen Gängen und Lagern in älteren Formationen bis zum Buntsandstein auf. Berühmt schon seit Alters sind die Spatheisenstein-Vorkommnisse des Siegerlandes; andere für die Eisenindustrie wichtige Fundstätten in Deutschland sind Thüringen (Schmalkalden, Kamsdorf), das sächsische Voigtland, der Harz (Gegend von Stolberg). In der österreichischen Monarchie liefern vorzugsweise die Alpenländer (Hüttenberg, Lölling) sowie Ungarn grosse Mengen von Spatheisenstein. Auch in Frankreich und Spanien treten einige, wenn auch den deutschen und österreichischen Vorkommnissen gegenüber unbedeutendere Vorkommnisse auf; ziemlich arm an Spatheisensteinen dagegen ist Grossbritannien und Nordamerika.

Beimengungen des Spatheisensteines, welche bei seiner Verhüttung Beachtung verdienen, damit sie nicht schädliche Einflüsse auf die Qualität des daraus erzeugten Roheisens ausüben, sind Kiese, neben dem Eisenkies insbesondere Kupferkies; ferner Bleiglanz, Schwerspath, Zinkspath, Galmei; sehr selten dagegen enthält der Spatheisenstein erhebliche Mengen von Phosphaten.

Diese letztere Eigenschaft erhebt denselben zu einem der vorzüglichsten Materialien für Herstellung phosphorreinen Eisens; die Leichtreducirbarkeit des Erzes, besonders im gerösteten Zustande[1]), erleichtert wesentlich die Verhüttung desselben, und der selten ganz fehlende Mangangehalt weist auf die Verwendung desselben zur Erzeugung manganhaltiger Eisensorten hin (Weisseisen, Spiegeleisen, Bessemerroheisen). Da nun solche manganhaltige Roheisensorten auch schon in früherer Zeit ein geschätztes Material für die Stahldarstellung bildeten, so erklärt sich hieraus, dass nicht allein der Spatheisenstein selbst in einzelnen Gegenden „Stahlstein" genannt wird, sondern dass man auch die Fundstätten desselben nicht selten mit demselben Beiworte bezeichnete (Stahlberg bei Müsen im Siegenschen u. a.).

---

1) Die Zersetzung roher Spatheisensteine findet erst in einer Temperatur von ca. 800° C. statt (Versuche von P. Tunner, mitgetheilt im Jahrbuche der Bergakademieen zu Leoben u. s. w. Bd. X, S. 494), während die Reduction kohlensäurefreier Erze schon in erheblich niedrigerer Temperatur beginnt.

Beispiele der Zusammensetzung verhütteter Spatheisensteine. [1])

	Rohe Spathe							Geröstete Spathe		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eisen	38.86	34.70	39.40	42.39	33.61	33.37	33.66	43.34	45.34	40.65
Mangan	9.20	6.50	3.10	1.97	2.61	1.76	1.46	7.39	2.82	2.04
Kieselsäure	0.22	8.00	3.52	0.73	21.05	10.55	16.78	14.69	12.33	16.11
Thonerde	n. best.	2.10	1.02	—	3.16	3.52	4.30	1.95	1.95	2.58
Kalkerde	0.70	0.50	4.68	0.31	1.75	0.77	Sp.	2.29	6.65	0.44
Magnesia	2.51	0.50	1.24	2.96	11.09	5.46	5.56	1.29	1.59	6.03
Blei	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—
Kupfer	0.03	0.10	n. best.	Sp.	1.05	0.01	0.05	0.09	n. best.	0.02
Schwefel	0.03	n. best.	n. best.	0.002	0.43	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	Sp.
Phosphor	Sp.	—	0.016	Sp.	n. best.	Sp.	Sp.	0.06	0.06	Sp.
Kohlensäure	n. best.	n. best.	28.81	38.86	14.18	n. best.	n. best.	7.12	8.75	n. best.
Wasser	n. best.	n. best.		0.09	0.96	n. best.	n. best.			

1. Spatheisenstein von Struthütten im Siegenschen; ausgestellt in der Düsseldorfer Ausstellung 1880.

2. Grube Wingertshart bei Niederhövels im Siegenschen; ausgestellt in der Düsseldorfer Ausstellung 1880.

3. Durchschnittliche Zusammensetzung der Kamsdorfer Spatheisensteine, welche auf der Maximilianshütte zu Unterwellenborn (Thüringen) verhüttet werden („Stahl und Eisen" 1882, S. 36).

4. Spath von Grube Karl Abbau in Ungarn, Gömörer Comitat. Wird auf der Eisenhütte Betlér verarbeitet (A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, S. 18).

5. Kupfer- und schwefelreiches Erz von Igló, der österr.-ungarischen Hochofengesellschaft Witkowitz gehörig (A. v. Kerpely a. a. O.).

6. Spath von Grube Köhlergrund, dem Eisenwerk Krompach im Zipser Comitat (Ungarn) gehörig. Analyse des Verfassers.

7. Spath von Grube Zahura; übrigens wie 6.

8. Gerösteter Spath von Rottleberode am Harz; wird in der Dortmunder Union verhüttet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. I, S. 121).

9. Gerösteter Spath von Innerberg in Kärnten, in Dortmunder Union verhüttet (Dürre, a. a. O., S. 123).

10. Gerösteter Spath von Grube Köhlergrund (Eisenwerk Krompach in Ungarn). Analyse des Verfassers.

B. Die Sphärosiderite.

Unter dieser Benennung kann man eine grössere Zahl von Eisenerzen zusammenfassen, deren Grundbestandtheil übereinstimmend aus kohlensaurem Eisen, wie bei den Spatheisensteinen, gebildet wird, während ihnen die deutlich krystallinische Beschaffenheit des eigentlichen Spatheisensteines fehlt. Dass man auch den reineren, in trauben- oder nierenförmigen Bildungen auftretenden Spatheisenstein als Sphärosiderit zu bezeichnen pflege, wurde bereits erwähnt; die meisten der als Sphärosiderite bezeichneten Erze sind jedoch stärker als der eigentliche Eisen-

---

[1]) Die Analysen sind in der Form gegeben, wie sie für den praktischen Eisenhüttenmann den meisten Werth haben; d. h. Eisen und Mangan sind als Metalle aufgeführt. Dass dieselben vorwiegend als Oxydul auftreten, das Eisen aber durch Verwitterung theilweise in Oxyd (Hydroxyd) umgewandelt zu sein pflegt, wurde oben erwähnt.

spath mit fremden, mechanisch beigemengten Körpern — Thon, Sand, organische Substanz — vermengt. Hierdurch eben ist das eigenthümliche Gefüge des Spatheisensteines unterdrückt und an dessen Stelle ist eine dichte, erdige oder körnige Beschaffenheit getreten.

Die Sphärosiderite bilden wegen ihres häufigen Vorkommens in oft mächtigen Lagern eine der wichtigsten Eisenerzgattungen der Erde. Fast 90 Proc. der gesammten Eisenerzeugung Grossbritanniens ist auf das Vorkommen von Sphärosideriten in Cleveland, Staffordshire, Wales, Schottland begründet; nicht unbedeutend ist ferner das Vorkommen von Sphärosideriten in Rheinland und Westfalen; auch Schlesien, Frankreich, Ungarn, Pennsylvanien enthalten bemerkenswerthe Vorkommnisse.

Wie die Spatheisensteine enthalten die Sphärosiderite häufig eingesprengte Kiese und Glanze (sind daher blei-, kupfer- und zinkhaltig); stärker als jene aber sind sie, wie erwähnt, mit thonigen und organischen Substanzen vermengt, und in sehr vielen Fällen enthalten sie ansehnliche Mengen von Phosphor.

Sie sind, besonders im gerösteten Zustande, leicht reducirbar und werden, je nachdem ihr Gehalt an fremden Körpern die eine oder andere Verwendung thunlicher erscheinen lässt, sowohl für Grau- als Weisseisendarstellung benutzt.

Ihrer Beschaffenheit nach lassen sie sich in folgende Unterabtheilungen eintheilen.

a) **Gewöhnlicher oder thoniger Sphärosiderit.** Dicht, grau, grünlich oder bräunlich gefärbt; thonhaltig, nicht selten reich an organischer Substanz (Kohle). Erscheint in verschiedenen Erdformationen, vorzugsweise in der Kohlenformation, dem Keuper, Jura und der Kreide.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7
Eisen	28.76	36.14	33.20	32.44	25.10	36.16	40.46
Mangan	0.74	1.12	1.16	0.80	4.70	2.86	1.22
Kieselsäure	19.13	10.17	10.22	11.60	10.13	11.50	8.76
Thonerde	7.63	4.80	1.14	4.88	4.40	3.64	1.53
Kalkerde	2.89	0.76	3.32	2.99	9.72	1.88	2.15
Magnesia	2.29	0.94	2.85	3.43	3.65	2.07	0.51
Kupfer	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	Sp.	n. best.	n. best.
Schwefel	0.10	0.04	0.02	0.08	0.15	0.36	n. best.
Phosphor	0.21	0.33	0.48	0.33	0.01	0.30	0.24
Kohlensäure	25.41	30.44	28.63	30.07	n. best.	n. best.	28.25
Wasser, org. Substanz	2.07	2.52	2.89	2.03	n. best.	n. best.	3.80

1. Aus Yorkshire. Nach Percy (Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Abth. S. 295 ff.).
2. Aus Südstaffordshire. Uebrigens wie 1.
3. Aus Stanton in Derbyshire. Uebrigens wie 1.
4. Aus Bleanavon in Monmouthshire. Uebrigens wie 1.
5. Thoneisenstein von Euskirchen. Auf dem Eisenwerke Hörde verarbeitet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 139).
6. Aus Grube Sperber zu Ruppichteroth. Auf Eisenwerk Phönix in Ruhrort verarbeitet (Dürre, a. a. O.).
7. Sphärosiderit von Schmiedewalde bei Meissen. Auf Eisenwerk Gröditz verhüttet. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

b) **Kohleneisenstein oder Blackband.** Häufig enthält der Sphärosiderit so beträchtliche Mengen von Kohle, dass er vollständig schwarz gefärbt ist und, entzündet, mitunter sogar fortbrennt. Er wird dann Kohleneisenstein oder (mit der englischen Bezeichnung) Blackband genannt. Der Kohlegehalt desselben pflegt mindestens 10 Proc. zu betragen, steigt aber mitunter bis auf 25 Proc. Im Uebrigen stimmt sein Verhalten mit dem des gewöhnlichen Sphärosiderits überein. Man verarbeitet ihn nur im gerösteten Zustande, und es ist hierzu um so eher Veranlassung gegeben, als sein eigener Kohlenstoffgehalt gewöhnlich ausreichend ist, die zur Durchführung der Röstung nothwendige Wärme zu liefern, ja mitunter noch die Röstung anderer Erze in Vermischung mit dem Kohleneisenstein ohne Aufwand fremden Brennstoffes zu gestatten.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	Roh			Geröstet		
	1	2	3	4	5	6
Eisen	36.20	34.14	30.30	52.12	46.70	47.66
Mangan	1.97	—	n. best.	1.21	1.42	0.90
Kieselsäure	1.93	10.19	5.26	9.64	16.49	13.44
Thonerde	1.23	2.39	—	5.75	5.88	4.46
Kalkerde	2.44	2.10	—	3.15	3.21	3.69
Magnesia	1.39	2.47	—	1.96	4.03	2.65
Kupfer	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.
Schwefel	0.18	0.09	n. best.	0.79	0.14	0.90
Phosphor	0.29	0.50	0.30	0.49	0.45	0.50
Org. Substanz	10.46	} 32.25	25.76	—	} 21.11	
Kohlensäure	30.77		—	—		4.05
Wasser	1.47		n. best.	3.00		

1. Von Shelton Kohlengrube in Staffordshire. Nach Percy (Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde Abth. 1, S. 300 ff.).
2. Von Klosterbusch bei Kupferdreh. Auf der Wiener Ausstellung durch Eisenwerk Phönix in Ruhrort ausgestellt (Dürre, Bericht u. s. w., S. 90).
3. Aus Westfalen; wird in Friedrich-Wilhelmshütte zu Mülheim a. d. Ruhr verhüttet. In Düsseldorf 1880 ausgestellt.
4. Gerösteter Blackband aus Westfalen (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. I, S. 136).
5. Gerösteter Blackband von Klosterbusch bei Kupferdreh (Dürre, Anlage u. s. w., S. 136).
6. Gerösteter Blackband aus Westfalen. Auf Friedrich-Wilhelmshütte verhüttet. In Düsseldorf 1880 ausgestellt.

C. Brauneisenerze.

Seiner chemischen Natur nach ist der Brauneisenstein durch einen Gehalt an chemisch gebundenem Wasser, seinem Aussehen nach durch braune bis schwarze Farbe und braunen Strich gekennzeichnet.

Die chemische Formel des eigentlichen normalen Brauneisensteines würde sein: $H_6 F_2 O_9$ mit ca. 60 Proc. Eisen; doch kennt der Mineraloge eine grössere Anzahl bestimmt ausgebildeter Formen des Braun-

eisensteins, deren Zusammensetzung von der obigen mehr oder minder abweicht (Göthit u. a.), und die Uebergänge sowohl zu den wasserfreien Eisenoxyden als den oxydul- und kohlensäurehaltigen Spatheisensteinen und Sphärosideriten, aus deren Zersetzung gar häufig der Brauneisenstein unmittelbar hervorging, sind ziemlich zahlreich. Hieraus erklärt es sich, dass auch der Wassergehalt der Brauneisenerze sich zwischen ziemlich weiten Grenzen bewegt.

Die Brauneisenerze sind ausserordentlich verbreitet und finden sich in fast allen Erdformationen. Eben deshalb treten sie uns in ziemlich mannigfaltigen äusseren Formen entgegen. Ausgezeichnet sind fast alle Brauneisenerze durch Leichtreducirbarkeit; die fremden Beimengungen derselben aber, welche neben jener Eigenschaft den Grad ihrer Verwendbarkeit bedingen, sind in den verschiedenen Vorkommnissen sowohl ihrer Menge als ihrer Beschaffenheit nach ziemlich verschieden. Mitunter finden sich Brauneisensteine unmittelbar neben den Spatheisensteinen, aus deren Umwandlung sie hervorgingen, und lassen dann nicht selten die Structur des Spatheisensteines noch deutlich erkennen, enthalten auch, wie diese, nicht unbeträchtliche Mengen Mangan.

Im Wesentlichen lassen sich folgende Arten des Brauneisensteines unterscheiden:

a) **Brauner Glaskopf.** Derselbe bildet ein durch Reinheit von fremden Körpern ausgezeichnetes Erz von dunkelbrauner bis schwarzer Farbe und krystallinisch fasriger Structur bei oft kugliger oder nierenartiger äusserer Form. Er erscheint vorwiegend in den ältesten Erdformationen.

b) **Gewöhnlicher Brauneisenstein.** Unter dieser Benennung lassen sich alle diejenigen Brauneisenerze zusammenfassen, welche nicht durch ganz besondere Eigenthümlichkeiten sich vor den übrigen auszeichnen. Einzelne derselben sind, wie der braune Glaskopf, ausgezeichnet durch grosse Reinheit; andere, und zwar vorwiegend die erdigeren und derben Sorten, enthalten Kiese, Glanze, Zinkerze, auch mitunter nicht ganz unbeträchtliche Mengen von phosphorsauren Verbindungen. Besondere Benennungen für einzelne Formen dieser Erze sind Schaleneisenstein oder Eisenniere (in schaligen oder nierenartigen Bildungen vorkommend), dichter Brauneisenstein, mulmiger oder erdiger Brauneisenstein.

Vorzügliche ältere Brauneisenerze, sowohl glaskopfartige als gewöhnliche, finden sich in den österreichischen Alpen neben den erwähnten Spatheisensteinen, in Thüringen, am Harz, in Spanien, Nordafrika (Algier), Nordamerika (Kentucky, Tenessee, Canada) u. a. a. O.; in Oberschlesien bilden die dortigen im Trias vorkommenden mulmigen Brauneisenerze das Hauptmaterial der dortigen grossartigen Eisenindustrie.

Die Erze aus Algier und Spanien haben im Laufe der siebenziger Jahre ihres hohen Eisengehaltes bei einem gewissen Mangangehalte und ihrer Reinheit von Phosphor halber eine nicht unbeträchtliche Bedeutung für die Eisenindustrie erlangt und werden in grossen Mengen auch auf deutschen, französischen und englischen Eisenwerken verarbeitet (Bilbao, Carthagena, Almeïra).

Beispiele für die Zusammensetzung von gewöhnlichen Brauneisenerzen und braunem Glaskopf.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Eisen	33.89	54.80	50.68	48.58	37.88	42.22	49.12	30.20	32.50	57.11	55.04
Mangan	0.15	0.57	1.90	2.25	0.17	0.26	3.00	0.51	2.72	—	0.20
Kieselsäure	28.29	8.80	8.68	13.08	33.38	17.93	9.35	21.93	27.15	3.30	7.02
Thonerde	10.03	1.15	3.21	1.91	0.88	10.28	0.91	2.40	7.09	2.23	2.50
Kalkerde	0.41	0.50	—	—	0.32	1.82	0.15	0.60	0.88	1.53	0.34
Magnesia	0.67	0.02	—	—	—	Sp.	0.11	0.15	0.62	—	0.38
Schwefel	0.33	0.04	n. best.	n. best.	0.06	—	0.24	—	n. best.	0.12	Sp.
Phosphor	0.04	0.02	0.40	0.33	0.57	0.08	0.09	—	0.24	0.09	0.06
Wasser	9.88	10.55	12.14	12.20	7.77	9.38	12.61	31.05	11.46	10.77	10.71
Zink	0.58	—	—	—	—	—	—	—	1.52	—	—
Blei	—	—	—	—	—	—	—	—	0.37	—	—

1. Brauneisenerz vom Rothen Berge bei Schwelm, in Dortmunder Union verhüttet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 62).
2. Brauneisenerz von Bilbao („Stahl und Eisen" 1882, S. 339).
3. Von den Sulzbacher Gruben in Thüringen, auf Maximilianshütte verarbeitet („Stahl und Eisen" 1882, S. 35).
4. Von den Crumbacher Gruben. Uebrigens wie 3.
5. Ochriger Brauneisenstein vom Büchenberge am Harz (Preuss. Ztschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1868, S. 206).
6. Von Grube Tännichen bei Elbingerode am Harz. (Wie Nr. 5.)
7. Ochriger Glaskopf vom Kärntner Erzberge (Verhandl. der k. k. Geologischen Reichsanstalt 1876, Bd. 26, S. 49).
8. Erz von Neubeuthen in Schlesien. (Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 338).
9. Erz von Tarnowitz (Preuss. Ztschr. 1874, S. 277).
10. Brauner Glaskopf aus dem Gömörer Comitat in Ungarn, in Eisenwerk Betlér verhüttet (A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine u. s. w., S. 32).
11. Eisenerz aus Pennsylvanien (F. Kupelwieser, das Hüttenwesen in den Vereinigten Staaten Nordamerikas, Wien 1877).

c) **Bohnerze und oolithische Erze.** Es sind dieses kugelförmige oder körnerförmige, auch wohl nierenförmige Erze, gewöhnlich von Nadelknopf- bis Nussgrösse, entweder in den einzelnen Körnern als loses Gerölle auftretend, häufiger durch eisenschüssigen Thon oder Quarz zu grösseren Massen verbunden. Sie finden sich in der Trias und im Tertiärgebirge in oft mächtigen Ablagerungen. Fast immer enthalten sie Phosphor und zwar in oft verhältnissmässig beträchtlichen Mengen; ihre Gewinnungskosten aber pflegen verhältnissmässig gering zu sein, und aus diesem Grunde verwendet man sie, wo sie vorkommen, nicht ungern für die Eisendarstellung.

Bohnerze finden sich im Breisgau, an einigen Orten Würtembergs, am Rande des Harzes (Wilhelmshütte, Salzgitter), u. a. a. O. Eine Gewinnung derselben in besonders grossartigem Maassstabe findet in der Gegend von Peine statt und die dort gewonnenen Erze werden in den Hochöfen zu Ilsede bei Peine verhüttet. Sie treten dort in 7—10 m mächtigen Lagern zwischen Hilsthon als Liegendem und, wo sie nicht zu Tage ausgehen und nur von Dammerde bedeckt sind, Kalkmergel

als Hangendem auf und bestehen aus Nieren und Kugeln, welche durch kohlensauren Kalk oder Thon unter einander verbunden sind. Zwischen den Brauneisenknollen finden sich in gleichmässiger Vertheilung Phosphoritknollen, theils winzig klein, theils bis zu Faustgrösse, mit einem Phosphorgehalte von ca. 10—12 Proc. Da eine Trennung derselben von den Erzen nur in sehr beschränktem Maasse zü bewirken ist, so besitzen auch die letzteren, wie die unten mitgetheilten Analysen beweisen, einen beträchtlichen Durchschnittsgehalt an Phosphor.

Auch Frankreich ist reich an Bohnerzen (Franche Comté, Berry, Champagne).

Ein eigenthümliches feinkörniges Erz, welches erst seit Anfang der sechziger Jahre Beachtung fand und den Namen **Minette** erhielt, seitdem aber für eine nicht unbedeutende Zahl grosser Hochofenwerke zum hauptsächlich oder ausschliesslich benutzten Material geworden ist, gehört ebenfalls den oolithischen Erzen an. Es enthält nicht selten neben dem Eisenhydroxyd noch kohlensaures Eisen (Eisenoxydul), aus dessen Umwandlung es hervorgegangen ist; seine Farbe ist, je nachdem es noch reicher an diesem kohlensauren Eisen ist oder bereits vollständig in Oxydhydrat überging, grünlich grau oder braun, auch wohl schwarz oder röthlich. Es ist fast immer reich an Phosphor. Eine Hauptlagerstätte dieses Erzes zieht sich von Nancy durch Elsass-Lothringen, Luxemburg bis nach Longwy in Frankreich und Athus in Belgien. Dieselbe erreicht an einzelnen Stellen, z. B. an der Luxemburger Grenze, eine Mächtigkeit bis zu 30 m und bildet die Grundlage eines grossartigen Hochofenbetriebes sowohl in Luxemburg als in Elsass-Lothringen und den angrenzenden deutschen und französischen Bezirken.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eisen	47.46	44.13	45.25	34.30	38.32	27.79	26.26	39.79	40.90	21.69
Mangan	0.54	5.63	5.03	2.88	1.70	5.58	3.42	0.48	n. best.	n. best.
Kieselsäure	7.90	15.56	4.35	9.31	10.37	4.91	5.12	8.70	16.63	14.71
Thonerde	8.50	5.32	3.54	5.60	7.32	0.74	0.93	6.21	4.95	3.88
Kalkerde	2.80	0.15	4.69	6.36	0.24	17.82	20.67	6.25	5.59	21.25
Magnesia	0.80	—	—	0.37	Sp.	—	Sp.	1.47	0.49	0.30
Schwefel	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	0.10	0.05
Phosphor	0.98	0.15	1.53	1.30	1.91	1.00	0.88	0.74	1.13	0.48
Wasser	10.30	15.86	11.73	11.57 (Wasser und Kohlensäure)	9.60 (Wasser und Kohlensäure)	19.41 (Wasser und Kohlensäure)	21.80 (Wasser und Kohlensäure)	8.20	11.78	9.81
Kohlensäure	—	—	—					5.76	4.25	18.89
Vanadinsäure	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Arsensäure	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hygroskopische Feuchtigkeit	—	—	—	10.34	10.90	7.05	7.00	—	—	—

1. Bohnerz von Grube Eschwege bei Gebhardshagen im Braunschweigischen (Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 360).

2. Oolithisches Liaserz aus Bayern. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

3. Thoniges Erz von Adenstedt bei Peine, in den Ilseder Hochöfen verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

4. Eben solches Erz wie Nr. 3, jedoch von einer anderen Gewinnung. In Ilsede untersucht. Nach erhaltener Privatmittheilung.
5. Thoniges Erz von Bodenstedt bei Peine; in den Hochöfen zu Ilsede verhüttet. Nach einer Privatmittheilung.
6. Braunes Kalkerz von Bülten bei Peine; wie 5.
7. Weisses Kalkerz von Bülten bei Peine; wie 5.
8. Grünliche Minette von Moyeuvre. Vom Verfasser untersucht.
9. Rothe Minette von Belvaux (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 75).
10. Braune Minette, Grube von der Heydt bei Redange (Dürre a. a. O., S. 79).

d) **Rasenerze (Wiesenerze).** Ablagerungen aus Wasser in sumpfigen Niederungen von oft beträchtlicher Ausdehnung, wenn auch selten in grosser Mächtigkeit. Sie besitzen theils erdige Beschaffenheit, theils kommen sie in festen Stücken vor; erstere pflegen lichtbraune Farbe, letztere dunkelbraune bis schwarzbraune Farbe zu besitzen. Rasenerze finden sich in grosser Verbreitung auf der ganzen norddeutschen Tiefebene von Holland bis nach Russland; auch in verschiedenen anderen Gegenden Russlands, in Canada, Pennsylvanien u. a. a. O. Wichtig für die Eisenindustrie sind sie vornehmlich durch ihre ausserordentlich billige Gewinnung. Da sie sich dicht unter der Erdoberfläche finden und hier selten eine Mächtigkeit von mehr als 0.5 m erreichen, ja, in sehr vielen Fällen in erheblich schwächeren Lagern auftreten, dabei aber eine grosse Fläche zu bedecken pflegen, so findet ein eigentlich bergmännischer Abbau dieser Erze gar nicht statt. Sie werden mit Hacke und Spaten ausgegraben, dann wird das abgehobene Erdreich wieder in die Grube gefüllt, und wo in einem Jahre die Arbeiter der Eisenhütte für diese das metallspendende Erz zu Tage förderten, zieht im folgenden Jahre häufig der Landmann mit dem Pfluge seine Furchen, den Boden für die Körnersaat vorzubereiten; ergiebiger aber als in früherer Zeit pflegt seine Ernte auszufallen, nachdem die oft dichte, undurchlässige Erzschicht aus seinem Boden entfernt ist.

Gewöhnlich sind die Rasenerze reich an eingemengten Quarzkörnern, ein Umstand, der sie zur Darstellung siliciumreicherer Eisensorten (grauem Roheisen) geeigneter als für siliciumarmes Eisen (Weisseisen) erscheinen lässt; ein kaum jemals fehlender Begleiter ferner ist Vivianit (Eisenphosphat), der dem Erze einen oft recht beträchtlichen und für manche Eisensorten sehr nachtheiligen Phosphorgehalt zuführt. Zwischen manchen Rasenerzen finden sich solche Eisenphosphate in Form dichter weisslicher Knollen bis zu Faustgrösse, mitunter knetbar wie Thon, an der Luft aber blau werdend. Durch Auslesen derselben bei und nach der Gewinnung des Erzes lässt sich der Phosphorgehalt des letzteren abmindern.

Den Rasenerzen ihrer Entstehung nach, den Bohnerzen ihrer Form nach ähnlich sind die sogenannten **Seeerze,** welche auf dem Boden schwedischer und finnländischer Seen gefunden und auf dortigen Eisenwerken verarbeitet werden. Sie kommen in Körnerform von der Grösse eines Hirsekornes bis einer Nuss vor, haben meistens eine abgeplattete, bohnenartige Form und werden mit Netzen vom Boden heraufgeholt.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	48.12	36.79	47.34	50.28	54.37	35.60	44.25	53.10
Mangan	0.21	—	1.67	—	0.22	1.74	1.74	0.55
Kieselsäure	7.22	—	11.22	4.65	5.40	25.70	13.60	7.05
Thonerde	0.93	—	1.91	—	—	2.47	1.86	1.76
Kalkerde	Sp.	—	1.56	0.54	—	2.45	0.13	2.95
Magnesia	Sp.	—	0.22	0.08	—		—	0.08
Schwefel	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	—	—	—	0.01
Phosphor	1.01	1.13	0.94	0.47	0.89	0.37	0.07	0.29
Wasser	21.22	19.16	13.16	21.79	17.29	15.70	17.7	10.83

1. Rasenerz von Elsterwerda. Auf Eisenwerk Gröditz verhüttet; vom Verfasser untersucht.
2. Rasenerz aus Wittenberg. Wie 1.
3. Holländisches Rasenerz, in Friedrich-Wilhelmshütte bei Mülheim a. d. Ruhr verhüttet. Privatmittheilung.
4. Belgisches Rasenerz. Wie 3.
5. Rasenerz von Quebeck (Fr. Kupelwieser, das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten).
6. Rasenerz aus Wolhynien, Kreis Nowogradwolhynsk; vom Verfasser untersucht.
7. Seeerz aus Finnland. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
8. Seeerz aus Småland; von Svanberg untersucht (Karsten, Handbuch der Eisenhüttenk. II, 48).

D. Rotheisenerze.

Der chemischen Zusammensetzung nach aus Eisenoxyd $Fe_2 O_3$ bestehend zeichnen sich diese Erze, sofern sie nicht etwa fremde Körper in grösseren Mengen enthalten, den bisher besprochenen Eisensteinsgattungen gegenüber durch hohen Eisengehalt aus, da sie weder den für die Spathe und Sphärosiderite charakteristischen Kohlensäuregehalt noch den den Brauneisenerzen eigenthümlichen Wassergehalt besitzen. Sie besitzen rothe bis röthlich schwarze Färbung und rothen Strich.

Der äusseren Form nach unterscheidet man: **Eisenglanz**, rhomboëdrisch krystallisirt, eisenschwarz bis grau von Farbe; **Eisenglimmer** und **Eisenrahm**, als dünnschalige, feinschuppige Varietäten des Eisenglanzes zu betrachten; **rothen Glaskopf (fasriges Rotheisenerz)** in nierenförmigen, traubenförmigen, stalaktitischen Formen mit fasriger Structur, der Form nach mit dem braunen Glaskopf übereinstimmend, jedoch roth von Farbe; **gewöhnliches erdiges oder dichtes Rotheisenerz** ohne bestimmte Form; **oolithisches Rotheisenerz**, den oolithischen Brauneisensteinen seiner Structur nach analog; u. a.

Der Rotheisenstein tritt in Gängen und Stöcken wie auf Lagern auf; die mächtigsten Vorkommnisse desselben bilden gleichförmige Einlagerungen zwischen Talk- und Chloritschiefern, Quarziten und Jaspis der azoischen Formationen; dichte Rotheisensteine finden sich vorwiegend zwischen Kalkstein und Diabas. Einige dieser Vorkommnisse sind hochberühmt; so die Rotheisenerze (Eisenglanze) von Elba, welche schon

im Alterthume zur Eisendarstellung benutzt wurden; die Rotheisenerze von Missouri (im Iron Mountain und Pilot Knob) und vom Oberen See (Lake Superior) in Michigan; von Cumberland und Nord-Lancashire; u. a. m. Deutschlands Rotheisenerze finden sich vorwiegend im Gebiete der Lahn; nicht ganz so bedeutend sind einige Vorkommnisse an der Eiffel, in einigen Gegenden Westfalens, im Harze, im Thüringerwalde und im Erzgebirge. Oolithische Rotheisenerze in beträchtlicher Mächtigkeit werden in Belgien gewonnen; reich an vorzüglichen Rotheisenerzen ist Spanien und Algier, und die dortigen Erze werden neben den schon erwähnten, von dort stammenden Brauneisenerzen auch in England, Belgien, Frankreich und Deutschland mehrfach verhüttet.

Das Vorkommen der Rotheisensteine im Grossen und Ganzen ist nicht so massenhaft als dasjenige der Brauneisenerze; wo sie aber auftreten, bilden sie ein sehr geschätztes Material für die Eisendarstellung. Denn ihr Eisengehalt ist, wie erwähnt, hoch, sofern er nicht durch eingewachsene fremde Körper herabgedrückt wird, und die reineren Erze (Eisenglanz, Glaskopf) ertragen deshalb auch einen Transport auf weitere Strecken als solche Erze, bei welchen die Frachtkosten einem geringeren Eisenausbringen zur Last fallen; der Phosphorgehalt sehr vieler Rotheisenerze ist sehr gering und diese eignen sich daher vorzugsweise zur Darstellung reiner, phosphorfreier Eisensorten. Einzelne, übrigens vorzügliche, Erze allerdings sind von Apatit durchzogen und somit phosphorhaltig; auch manche erdige und dichte, besonders die oolithischen, Erze enthalten Phosphor in solchen Mengen, dass die Herstellung phosphorfreier Eisensorten daraus nicht möglich sein würde. Immerhin bleibt der durchschnittliche Phosphorgehalt der Rotheisenerze hinter dem durchschnittlichen Phosphorgehalte der Brauneisenerze erheblich zurück, um so mehr, wenn man nicht den Procentgehalt an Phosphor im Erze, sondern das Verhältniss dieses Phosphorgehaltes zu dem anwesenden Eisengehalte, welches doch allein den Ausschlag zu geben hat, für den Vergleich heranzieht. Einem so hohen Phosphorgehalte, wie ihn die jüngeren Brauneisenerze (Bohnerze, Minette, Rasenerze) ziemlich regelmässig besitzen, begegnen wir in den Rotheisenerzen nur in Ausnahmefällen.

Nicht selten dagegen findet sich Schwefelkies; viele Rotheisenerze enthalten eingesprengte grössere oder kleinere Quarzkrystalle und eignen sich dann vorzugsweise zur Darstellung von grauem Eisen. Der Mangangehalt der Rotheisenerze ist selten erheblich. Erzlager im Kalkstein enthalten häufig nicht unerhebliche Mengen von kohlensaurem Kalk; einzelne Rotheisenerze führen kleine Mengen Titansäure.[1])

Die Rotheisenerze, selbst die dichten Arten derselben, sind ziemlich leicht reducirbar; doch pflegt man anzunehmen, dass ihre Reducirbarkeit derjenigen der Brauneisenerze nachstehe.

---

1) Ueber den Einfluss des Titansäuregehaltes auf die Schmelzbarkeit der Schlacke vergl. S. 153.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eisen	68.92	62.91	66.22	62.54	38.64	42.04	27.95	31.38	34.95
Mangan	—	Sp.	—	1.93	0.10	0.89	0.13	0.19	1.12
Kieselsäure	1.53	5.89	2.60	3.80	17.80	23.88	7.19	0.87	27.12
Thonerde	—	1.39	—	1.71	7.58	9.28	1.12	0.06	5.40
Kalkerde	—	0.70	0.60	—	8.10	—	21.91	29.95	—
Magnesia	—	0.42	0.30	0.50	0.82	—	0.67	0.35	—
Schwefel	—	0.05	—	0.02	Sp.	n. best.	n. best.	—	2.46
Phosphor	—	0.11	Sp.	0.04	0.19	0.21	0.15	0.09	0.08
Titansäure	—	—	0.20	—	—	—	—	—	—
Kupfer	—	—	—	0.07	Sp.	—	—	—	—
Glühverlust	—	—	1.60	2.23	9.92	4.04	CO_2, H_2O 23.16	CO_2 23.68	n. best.

1. Glaskopf aus Cumberland. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
2. Festes Rotheisenerz vom Oberen See. Durchschnittsanalyse (Wedding, das Eisenhüttenwesen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, S. 14).
3. Nordafrikanisches Erz aus dem Departement Constantine (Fr. Kupelwieser, Oesterr. Ausstellungsbericht 1879, S. 10).
4. Nordafrikanisches Erz, sogenanntes Moktaerz; in Dortmunder Union verhüttet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 45).
5. Nassauisches Rotheisenerz, in Friedrich-Wilhelmshütte verhüttet (Privatmittheilung).
6. Nassauisches Rotheisenerz, in Gutehoffnungshütte bei Oberhausen verhüttet (Dürre, Anlage u. s. w., S. 33).
7. Kalkspathreiches Erz aus Grube Christiane in Westfalen; in Dortmunder Union verhüttet (Dürre, Anlage u. s. w., S. 34).
8. Harzer Rotheisenstein von Grube Johannes bei Elbingerode. Analysirt im Laboratorium der Berliner Bergakademie (Ztschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1868, S. 206).
9. Eisenocher aus Falun. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

E. Magneteisenerze.

Dieselben bestehen aus Eisenoxyduloxyd von der durchschnittlichen Zusammensetzung $Fe_3 O_4$, bisweilen jedoch auch Abweichungen in der Zusammensetzung zeigend. Die Farbe ist schwarz oder grünlich schwarz, der Strich schwarz; bekannt ist die magnetische Eigenschaft dieses Erzes.

Die Magneteisenerze krystallisiren im regulären Systeme, treten aber gewöhnlich in derben körnigen oder dichten Massen auf; mitunter auch an den Küsten als Magneteisensand. In Lagern, Flötzen und Stöcken findet sich das Erz zwischen den Gesteinen der Gneiss- und Glimmerschieferreihe, nicht selten in der unmittelbaren Nähe von Rotheisenerzen. Obgleich durchschnittlich die Magneteisenerze seltener als die bisher besprochenen, auch als die Rotheisenerze, auftreten, besitzen doch einzelne dieser Vorkommnisse durch ihre ausserordentliche Mächtigkeit hohe Bedeutung und sind weit berühmt. Besonders reiche Erzlagerstätten finden sich in Skandinavien (Dannemora in Schweden, Arendal in Norwegen, Gellivara in Lappland); am Ural; in den Vereinigten Staaten Nordamerikas am Lake Champlain, am Lake Superior u. a. O.; nicht unbedeutend sind ferner einzelne Vorkommnisse Ungarns sowie im Sächsischen Erzgebirge; auch am Harze, in Thüringen, in

Schlesien werden Magneteisenerze gewonnen, obschon in geringeren Mengen. Nordafrika liefert neben den erwähnten Roth- und Brauneisenerzen auch vortreffliche Magneteisenerze an europäische Eisenwerke; auch in Corsika und Sardinien werden Magneteisenerze gewonnen. Arm an diesen Erzen dagegen ist Grossbritannien.

Unter allen Erzen besitzt das reine Magneteisenerz seiner chemischen Zusammensetzung gemäss den höchsten Eisengehalt. Beachtenswerth ist allerdings, dass vollständig oder annähernd reine Erze weit seltener unter den Magneteisenerzen als unter den Rotheisenerzen vorkommen; und daher wird der Eisengehalt, wie ihn manche Eisenglanze, Glasköpfe u. s. w. besitzen, kaum jemals von den Magneteisenerzen überboten. Sein Phosphorgehalt ist in den meisten Fällen ausserordentlich gering, obschon einzelne der Magneteisenerze durch eingewachsene Apatite verunreinigt sind. Aus diesem Grunde ist das Magneteisenerz ein besonders für Darstellung phosphorfreien Eisens gesuchtes Material und das schwedische, seiner vortrefflichen Eigenschaften halber berühmte Eisen, welches zum grossen Theile aus Magneteisenerzen erblasen wurde, verdankt jenen guten Ruf zumeist seiner Reinheit von Phosphor. Einzelne Erze sind mit Quarz durchwachsen; andere enthalten Kalkspath in ansehnlichen Mengen. Häufig findet sich ein grösserer Gehalt an Schwefel-, Kupfer- oder Arsenkies; sonstige nicht seltene Begleiter des Magneteisenerzes sind Hornblende, Chlorit, Granat, Zinkblende, Bleiglanz. Eigenthümlich für manche, insbesondere skandinavische und nordamerikanische Erze ist ein Gehalt an Titansäure, welcher häufiger und in beträchtlich grösseren Mengen als in Rotheisensteinen auftritt, mitunter bis zu 10 Proc. steigt und dann allerdings nachtheilig auf die Verwendbarkeit des Erzes einwirkt.[1])

Den erwähnten vortrefflichen Eigenschaften der Magneteisenerze steht als eine seine Verwendung erschwerende Eigenschaft seine Schwerreducirbarkeit gegenüber. Unter allen bisher besprochenen Erzen ist der Magneteisenstein der am schwierigsten reducirbare. Durch oxydirende Röstung, welche das Eisenoxyduloxyd in Eisenoxyd überführt, wird das Erz in ein leichter reducirbares umgewandelt; daher ist es Regel, die Magneteisenerze nur im gerösteten Zustande zu verarbeiten.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	66.22	59.51	44.26	55.90	51.97	45.34	48.35	52.96
Mangan	0.76	0.12	5.76	0.16	Sp.	0.11	0.10	—
Kieselsäure	10.14	12.44	1.75	10.48	13.60	32.66	30.05	9.80
Thonerde	0.37	0.33	0.20	3.98	1.81	0.13	1.70	9.48
Kalkerde	0.43	1.08	3.80	2.16	10.00	0.48	0.65	1.46
Magnesia	0.29	0.51	7.53	6.01	1.94	0.28	—	0.72
Schwefel	0.05	0.02	n. best.	n. best.	0.27	—	0.01	0.06
Phosphor	0.01	0.18	Sp.	Sp.	0.01	0.13	0.04	0.23
Titansäure	0.57	—	—	—	—	—	—	4.40
Kohlensäure, Wasser . .	—	—	18.72	—	2.20	2.73	—	—

1) Vergl. S. 153.

1. Von der Lugnasgrube bei Carlstad in Schweden. Analysirt von Lundstrom (Jern-Kontorets Annaler 1875, S. 356).
2. Von der Danielgrube in Grängesberg. Wie 1.
3. Magneteisenerz von Norberg. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
4. Schwedisches Magneteisenerz. Wie 2.
5. Magneteisenerz von Berggiesshübel bei Pirna. In Königin-Marienhütte analysirt (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 14).
6. Von Grube Röddecker bei Elbingerode am Harz. Im Laboratorium der Berliner Bergakademie untersucht (Dürre, Anlage u. s. w., S. 15).
7. Vom Lake Champlain (Wedding, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten von Nordamerika, S. 5).
8. Aus New-Jersey (Wedding, a. a. O., S. 6).

Ein eigenthümliches Erz, welches sowohl zur Zink- als zur Eisengewinnung benutzt wird, ist der **Franklinit.** Man betrachtet denselben als ein Magneteisenerz, in welchem ein Theil des Eisenoxyduls durch Zinkoxyd, ein Theil des Eisenoxyds durch Manganoxyd vertreten ist [Formel: $(Zn, Fe, Mn) O + (Fe_2, Mn_2) O_3$]. Derselbe findet sich im Staate New-Jersey in einem mächtigen Lager zwischen Franklin und Ogdensburg. Die Erze werden zunächst in einer Zinkhütte auf Zink verarbeitet, welches sich verflüchtigt und in Vorlagen oder (bei Zinkweissdarstellung) in Kammern aufgefangen wird; die Rückstände kommen zum Eisenhochofen und werden hier zur Darstellung eines manganhaltigen Roheisens (Spiegeleisens) benutzt.

F. Kieseleisensteine.

Mitunter, jedoch, wie erwähnt, selten wegen der Schwerreducirbarkeit dieser Erze, setzt man den Beschickungen für Eisendarstellung solche natürlichen Eisensilikate zu. Hierher gehören **Chamosit** mit ca. 47 Proc. Eisen, 14 Proc. Kieselsäure; **Knebelit** mit 27.5 Proc. Eisen, 27 Proc. Mangan, 29.5 Proc. Kieselsäure; u. a. m.

G. Manganerze.

Man verwendet geröstete **Manganspathe** ($Mn CO_3$), **Manganite** ($H_2 Mn_2 O_4$), häufiger die unter dem Namen **Braunstein** auftretenden sauerstoffreichen Manganverbindungen (**Pyrolusit,** chemische Zusammensetzung $Mn O_2$), oder das als **Wad** bezeichnete Manganerz, im Wesentlichen aus Mangansuperoxyd mit Manganoxydul und Wasser bestehend.

Reine Manganspathe und Manganite würden sich vortrefflich zur Darstellung von manganreichen Eisensorten eignen, sind aber verhältnissmässig selten. In weit grösseren Mengen finden sich Braunsteine, theils verhältnissmässig rein, theils mit Kiesel, Kalkspath, Eisenoxyd vermengt. Für die Verwendung zur Darstellung manganreicher Eisenlegirungen sind diejenigen die werthvollsten, deren Kieselsäuregehalt möglichst gering ist; auch ein grösserer Eisengehalt ist aus nahe liegenden Gründen nicht erwünscht.

Erschwerend auf die Verhüttung dieser Erze wirkt ihr hoher Sauerstoffgehalt aus Gründen, welche später ausführlichere Erörterung finden werden. Derselbe lässt sich durch einfache Röstung in höherer Temperatur oder durch reducirende Röstung in niedrigerer Temperatur (unter Einwirkung von Kohlenoxyd) abmindern, und das Mangansuperoxyd

(MnO_2) wird hierbei in Manganoxyduloxyd (Mn_3O_4) umgewandelt.[1]) Auch ein nicht ganz unbeträchtlicher Phosphorgehalt findet sich bisweilen und verringert den Werth dieser Erze.

Fundstätten dieser Erze sind Nassau, Ungarn, Spanien (Huelva), der Kaukasus, Canada, Sardinien u. a. m.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5
Mangan	52.78	36.87	55.03	51.98	51.63
Eisen	1.89	11.63	1.40	14.24	13.72
Kieselsäure	6.20	15.15	8.30	2.15	0.87
Thonerde	1.40	n. best.	n. best.	2.50	0.69
Kalkerde	3.40	n. best.	n. best.	0.30	1.52
Schwefel	—	—	—	0.02	—
Phosphor	0.15	0.14	0.01	0.12	—

1. Pyrolusit von Huelva. Wird auf dem französischen Eisenwerke Terrenoire sowie auf deutschen Eisenwerken verarbeitet (Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878, S. 75).
2. Nassauisches Manganerz, in Hörde verarbeitet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 196).
3. Canadisches Eisenerz. Wie 2.
4. Ungarisches Manganerz, auf Schmelzwerk Oláhpatak verarbeitet (Kerpely, Ungarns Eisensteine, S. 42).
5. Ungarisches Manganerz aus dem Eisenburger Comitat (Kerpely, Ungarns Eisensteine, S. 42).

2. Die Zuschläge.

Zweck der Zuschläge ist, die den Erzen beigemengten sogenannten „Gangarten" d. h. fremden Gesteine in solcher Weise zu verschlacken, dass die Schmelztemperatur und chemische Beschaffenheit der Schlacke den Erfordernissen des Schmelzprocesses entspricht; mitunter auch, obschon in nur seltenen Fällen, die Menge der überhaupt entstehenden Schlacke, welche verschiedene Aufgaben beim Schmelzen des Eisens zu erfüllen hat, anzureichern.

Hieraus folgt schon von vorn herein, dass die Wahl der Zuschläge nicht nur von der Art des Schmelzprocesses, sondern auch vornehmlich von der Zusammensetzung der zur Verwendung stehenden Eisenerze abhängig sein muss.

Einem an Kieselsäure, beziehentlich Thonerde, reichen Erze wird man kalk- oder magnesiahaltige Zuschläge geben müssen. Dieser Fall ist der bei weitem häufigste und mindestens 90 Proc. aller Eisenwerke sind gezwungen, Zuschläge dieser Art zu verwenden. Man benutzt hierfür **Kalkstein** oder, sofern man auch den Magnesiagehalt anzureichern wünscht, oder sofern ökonomische Rücksichten es vortheilhaft erscheinen lassen, **Dolomit**.

---

1) Versuche über diesen Umwandlungsprocess sind mitgetheilt in der Abhandlung: A. Ledebur, Zur Theorie der Manganhochöfen. Glaser's Annalen Bd. VIII, S. 449.

Die weite Verbreitung des Kalksteines in der Natur, welche in den meisten Gegenden die Möglichkeit für die billige Beschaffung grösserer Mengen desselben gewährt, bildet eine nicht unwichtige Unterstützung der Eisenindustrie. Wenn man erwägt, dass manchen Erzen mehr als 40 Proc. ihres Eigengewichtes an Kalkstein zugeschlagen werden müssen, so wird man ermessen können, dass für die Darstellungskosten des Eisens der Preis jenes Zuschlagsmaterials nicht ohne Wichtigkeit ist.

Der Kalkstein (Calciumcarbonat $CaCO_3$) enthält im ganz reinen Zustande 56 Gewichtstheile Kalkerde und 44 Gewichtstheile Kohlensäure, so dass man, um 100 Thle. Kalkerde den Erzen zuzuführen, 178.6 Gewichtstheile des Carbonats verwenden muss. Da der Kalkzuschlag, wie erwähnt, vorzugsweise zur Verschlackung der Kieselsäure oder, richtiger, zur Herstellung eines bestimmten Verhältnisses zwischen Kieselsäure und Basen dienen soll, so verliert der Kalkstein um so mehr Werth als Zuschlagsmaterial, je reicher er selbst an Kieselsäure ist; denn nicht allein wird unmittelbar der Procentgehalt seines nutzbaren Bestandtheils dadurch abgemindert, sondern die von dem Kalkstein zugeführte Kieselsäure bindet auch wieder eine entsprechende Menge seines eigenen Kalkgehaltes und entzieht dieselbe dadurch ihrer eigentlichen Bestimmung.

Versteinerungsreiche Kalksteine enthalten mitunter Phosphorsäure in grösseren Mengen und sind deshalb, wenn phosphorreine Eisensorten dargestellt werden sollen, nur mit Vorsicht zu verwenden; noch reicher an Phosphorsäure und zugleich reich an Kieselsäure und daher wenig brauchbar für Eisendarstellung ist sogenannter Kalktuff oder Wiesenmergel.

Manche Kalksteine enthalten Schwefel- und Kupferkies, Bleiglanz, Galmei, Gips. Einige sind reich an Eisen und bilden, sofern ihre sonstige Zusammensetzung nicht ihre Verwendung für Eisendarstellung ausschliesst, die schon früher erwähnten Uebergänge zu den Eisenerzen.

Am werthvollsten für die Zwecke des Eisenhüttenmannes pflegt der **krystallinisch körnige Kalkstein (Marmor)** zu sein, weil er durchschnittlich den grössten Gehalt an Kalk, den geringsten an schädlichen Bestandtheilen besitzt. Wo dieser nicht zu einem ausreichend billigen Preise zu erhalten ist, pflegt man einen möglichst reinen sogenannten **dichten Kalkstein** als Zuschlag zu verwenden, der aber mitunter durch eingeschlossene Reste von Thieren phosphorhaltig, auch nicht selten durch Thon oder Sand stark verunreinigt ist. Auch **oolithischer Kalkstein,** welcher jedoch ebenfalls etwas phosphorhaltig zu sein pflegt, wird an verschiedenen Orten als Zuschlag verschmolzen. Weniger häufige Verwendung für diesen Zweck findet die **Kreide,** theils wegen des Umstandes, dass ihr Auftreten an einzelne Gegenden gebunden ist (Dover, Rügen), theils auch wegen der eingeschlossenen Feuersteinknollen und Thonlagen. Reiner Kreidekalk soll von Dover aus nach verschiedenen Eisenwerken Englands als Zuschlagsmaterial geliefert werden.[1])

---

1) Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abth. II, S. 544; Preuss. Ztschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1866, S. 299.

Wo man Magnesia neben Kalkerde in die Beschickung zu führen wünscht, schlägt man **Dolomit** zu, im reinen Zustande bekanntlich aus Calcium- und Magnesiumcarbonat in nicht immer gleichen gegenseitigen Verhältnissen bestehend, durchschnittlich etwa 60 Thle. Calciumcarbonat neben 40 Thln. Magnesiumcarbonat enthaltend. Derselbe tritt theils körnig, theils dicht auf; einige Dolomite enthalten als nachtheilige Beimengung grössere Mengen von Kieselsäure; auch Zinkblende, Arsenkies, Schwefelkies finden sich nicht selten.

Beispiele von der Zusammensetzung der Zuschlags-Kalksteine und Dolomite.

	1	2	3	4	5
Kalkerde	51.85	52.58	52.33	33.21	26.65
Magnesia	—	1.58	1.86	16.00	16.48
Eisen	Sp.	0.51	—	0.77	3.42
Mangan	Sp.	—	—	—	Sp.
Thonerde	—	0.12	0.75	4.70	Sp.
Kieselsäure	2.10	1.17	2.10	2.40	11.00
Phosphor	—	—	0.01	n. best.	—
Schwefel	Sp.	Sp.	0.11	n. best.	n. best.
Kohlensäure	40.75	43.06	42.89	n. best.	41.17

1. Krystallinischer Kalkstein von Meissen. Auf Eisenwerk Gröditz verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
2. Ungarischer krystallinischer Kalkstein. Auf Eisenwerk Krompach verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
3. Kalkstein von Limburg a. d. Lenne, in Dortmunder Union verarbeitet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 189).
4. Dolomitischer Zuschlagskalkstein aus der Eiffel, in Eisenwerk Jünkerath verhüttet (Dürre, Anlage u. s. w., S. 191).
5 Dolomitischer Zuschlagskalkstein von Ostrau in Sachsen. Auf Eisenwerk Gröditz verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

Mitunter, jedoch nur in Ausnahmefällen, schlägt man wohl **Flussspath** an Stelle der Kalksteine oder neben denselben den Eisenerzen zu. Es wurde schon früher erwähnt, dass man durch Flussspathzusatz den Schmelzpunkt einer Schlacke zu erniedrigen vermöge. Wo also diese Aufgabe vorliegt, bildet derselbe ein zweckdienliches Mittel. Für den regelmässigen Gebrauch aber besitzt er zwei nachtheilige Eigenschaften: erstens sein hoher Preis und zweitens die starke Abnutzung der Ofenwände durch flussspathhaltige Schlacken.

Nach Berthier's Ansicht, welcher über die Einwirkung des Flussspaths auf Silikate und andere Verbindungen mehrfache Versuche anstellte[1]), beruht die durch den Zusatz desselben bewirkte Erniedrigung des Schmelzpunktes theils unmittelbar auf der Bildung von leichtflüssigen Doppelverbindungen (Silikaten und Fluoriden), theils auch auf Verflüchtigung eines Theils des in der Kieselsäure enthaltenen Siliciums als Siliciumfluorid und Anreicherung des Kalkgehaltes. Letzterer Vor-

1) P. Berthier, Traité des essais etc. I, p. 480; mitgetheilt in Percy, Metallurgie 1. Bd., deutsch von Knapp, S. 47.

gang würde freilich nur dann eine Erniedrigung des Schmelzpunktes zur Folge haben können, wenn die Schlacke wegen allzu hohen Kieselsäuregehaltes strengflüssig wäre, bei basischen Schlacken dagegen den entgegengesetzten Erfolg haben.

Verschiedene Erze, insbesondere Spatheisensteine, führen übrigens schon als natürliche Beimengung Flussspath in die Schlacke und besitzen aus diesem Grunde die Eigenschaft, leicht schmelzbare, dünnflüssige Schlacken zu liefern.

Hat man Erze mit grossem Kalk- oder Magnesiagehalte zu verhütten, fehlt es also an Kieselsäure und Thonerde, so benutzt man mitunter **Thonschiefer** als Zuschlag, welcher beide Körper den Erzen zuführt. Die durchschnittliche Zusammensetzung des Thonschiefers lässt sich folgendermaassen annehmen:

Kieselsäure	Thonerde	Eisenoxydul und -Oxyd	Magnesia, Kalkerde	Alkalien, Wasser, Kohlensäure
60	19	8	3	10

In anderen Fällen wendet man **Gabbro, Diabas, Granit** an, um den Kieselsäure- und in geringeren Mengen den Thonerdegehalt anzureichern. Als typische Durchschnittswerthe der chemischen Zusammensetzung dieser Gesteine lassen sich folgende annehmen:

	Kieselsäure	Thonerde	Eisenoxydul und -Oxyd	Magnesia, Kalkerde	Alkalien u. s. w.
Gabbro . .	50	15	15	10	10
Diabas . . .	50	16	13	10	11
Granit . . .	72	16	2	2	8

3. Die Vorbereitungsarbeiten.

A. Die Zerkleinerung.

Für die erfolgreiche Verhüttung der Erze und Zuschläge ist es erforderlich, dass dieselben eine bestimmte, von der Art des Schmelzprocesses abhängige Korngrösse besitzen.

Je kleiner die einzelnen Stücke sind, desto grösser ist das Verhältniss ihrer Oberfläche zu ihrem Rauminhalte, desto günstiger gestaltet sich mithin die Wärmeabgabe an dieselben, desto zugänglicher sind sie den reducirenden Einflüssen. Wenn von diesem Gesichtspunkte aus eine möglichst weit getriebene Zerkleinerung der in Rede stehenden Materialien unläugbar von Vortheil ist und eine Ersparung an Brennstoff und Reductionsmaterial mit sich bringt, so ist doch andererseits für die allzu starke Zerkleinerung eine Grenze durch den Umstand gesteckt, dass die Gase des Schmelz-, beziehentlich Reductionsofens, welche in den allermeisten Fällen, und zwar in jedem für diesen Zweck dienenden Schachtofen, ihren Weg durch die Anhäufung der Erze u. s. w. hindurch nehmen müssen, um so grössere Widerstände auf diesem Wege finden, je dichter jene auf einander liegen, d. h. je feinstückiger sie sind. Selbst wenn man durch grösseren mechanischen

Arbeitsaufwand (durch Anwendung eines kräftigen Gebläses) jenen grösseren Widerstand überwinden und die Gase durch die Erzsäule hindurchtreiben wollte, so wächst doch mit jenem Widerstande auch die Ungleichmässigkeit in der Bewegung der Gase, und auch aus diesem Grunde darf ein gewisses Maass bei der Zerkleinerung der Erz- und Zuschlagsstücke nicht überschritten werden.

Jene Gleichmässigkeit in der Bewegung der Gase durch die angehäuften Erze u. s. w. hindurch wird nicht minder beeinträchtigt, wenn Stücke von sehr verschiedener Grösse zusammengehäuft sind. Es ist deshalb wünschenswerth, wenn auch praktisch nicht immer durchführbar, Erze u. s. w. von möglichst gleichartiger Korngrösse in einem und demselben Ofen zu verarbeiten.

Aus dem Gesagten folgt aber, dass die zweckmässigste Korngrösse der zur Verhüttung bestimmten Erze und Zuschläge von der Länge des Weges der Gase durch die Beschickungssäule hindurch, bei Schachtöfen also von der Höhe des Ofens abhängig sein muss. Je niedriger der Ofen ist, desto stärker zerkleint man zweckmässigerweise die einzelnen Stücke. In den meisten Fällen dürfte Nuss- bis Faustgrösse die geeignetste sein; in grossen Kokshochöfen verarbeitet man allerdings mitunter Erzstücke von mehr als Kopfgrösse (obschon dieses Verfahren nicht gerade als nachahmungswerth empfohlen werden soll), und umgekehrt ist man nicht selten gezwungen, auch natürlich vorkommende, fast pulverartige Erze — manche Rasenerze, Bohnerze u. a. — mit den anderen zu verhütten.

Alle jene Erze und Zuschläge, welche in übermässig grobstückigem Zustande von der Grube angeliefert werden, bedürfen also einer mechanischen Zerkleinerung auf der Hütte.

Selten geschieht diese Zerkleinerung von Hand durch Zerklopfen mit eisernen Hämmern. Das Verfahren hat allerdings den Vortheil, dass man hierbei arme oder durch schädliche Bestandtheile verunreinigte Stücke auslesen kann; ist aber kostspielig und würde bei nur einigermaassen umfänglichem Betriebe die Anstellung einer grossen Arbeiterreihe erforderlich machen.

Die Maschinen, welche man zur Zerkleinerung benutzt, sind folgende:

a. Pochwerke.

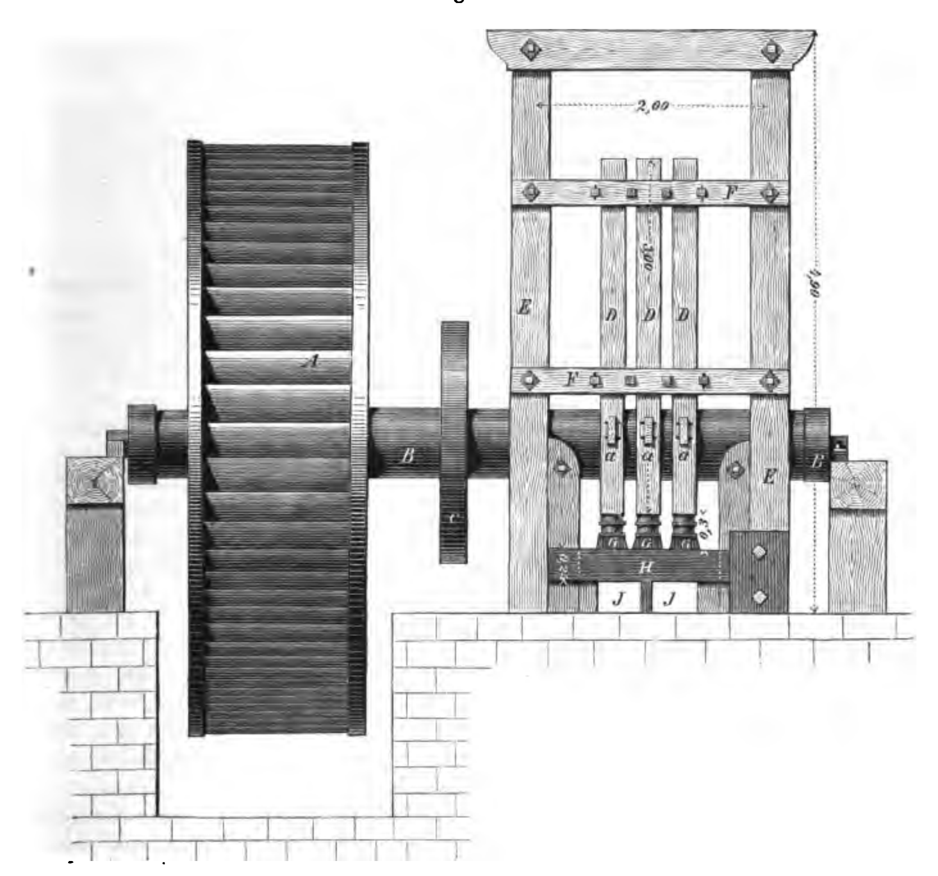
Dieselben bilden die älteste[1]), aber auch — wenigstens für Eisenerze, welche nur bis zu einer bestimmten, nicht allzu kleinen Korngrösse zerkleinert werden dürfen — die am wenigsten vollkommene Zerkleinerungsvorrichtung. Während man andere Erze (Bleierze u. s. w.), welche stärker zerkleint werden, nass, d. h. unter Zufluss von Wasser zu pochen pflegt, um Verstäubung zu vermeiden, werden die Eisenerze, bei deren Zerkleinerung überhaupt kein Staub gebildet werden soll, nur trocken gepocht.

---

1) Sie stammen aus dem sechszehnten Jahrhunderte. **1507** wurde das erste Pochwerk im Erzgebirge durch Sigismund von Maltitz, **1524** das erste Pochwerk auf dem Harze durch Peter Philipp eingeführt (A. Gurlt, Bergbau- und Hüttenkunde, 2. Aufl., S. 104).

Fig. 34 zeigt die übliche Einrichtung eines Eisensteinspochwerkes in $\frac{1}{60}$ der wirklichen Grösse.[1]) Drei oder fünf hölzerne, in anderen Fällen gusseiserne oder auch schmiedeeiserne Pochstempel *DDD* tragen an ihrem unteren Ende die aus Gusseisen oder besser noch aus Gussstahl gefertigten Pochschuhe *GGG*, welche mit Zapfen in die Pochstempel (die an dem unteren Ende durch umgelegte eiserne Bänder gerüstet sind) eingesteckt und mit Keilen befestigt werden, so dass sie

Fig. 34.



ohne Schwierigkeit ausgewechselt werden können. In entsprechender Höhe oberhalb der Pochschuhe tragen die Pochstempel die Heblinge *aaa*, durchgesteckte, an der Rückseite um das erforderliche Maass vorragende Hölzer, an welchen die Stempel von den auf der Daumenwelle *B* angebrachten Hebedaumen ergriffen und angehoben werden, um dann bei weiterer Drehung der Welle wieder niederzufallen. Die

1) Nach Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 2, S. 521.

Vertheilung der Hebedaumen auf der Welle ist eine solche, dass der Anhub der Pochstempel in gleichmässiger Reihenfolge vor sich geht; von der Hubhöhe und dem Gewichte der letzteren ist natürlich die mechanische Wirkung jedes einzelnen Schlages abhängig. Stempeln der Eisensteinspochwerke pflegt man ca. 150 kg Gewicht und 20 cm Hub bei 60 Hüben per Minute zu geben. Es lässt sich hieraus unschwer die erforderliche Betriebskraft für den Betrieb berechnen, wobei man erfahrungsmässig den Nutzeffect des Pochwerkes = 0.75 zu setzen hat.

Die Pochstempel sind zwischen zwei Paar wagerechter Leithölzer *FF* geführt; diese werden an den Pochsäulen *EE* befestigt, welche an dem oberen Ende durch ein Querhaupt verbunden sind und mit diesem zusammen das Pochgerüst bilden.

Als Unterlage für die zu zerkleinernden Erze dient die starke gusseiserne Pochsohle *H*, gewöhnlich gitter- oder rostartig geformt, so dass die Erze, sobald die Zerkleinerung das erforderliche Maass erreicht hat, zwischen den Oeffnungen der Pochsohle hindurch in den Raum *JJ* fallen, um hier entfernt zu werden.

Das abgebildete Pochwerk wird durch das Wasserrad *A* getrieben und die Daumen sitzen hier unmittelbar auf der Wasserradwelle *B*. Man pflegt dieselben aus Gusseisen zu fertigen und an einen Ring anzugiessen, welcher über die Welle geschoben wird. *C* ist eine Bremsscheibe mit Bremse, um das Pochwerk rasch zum Stillstand bringen zu können.

Ein Nachtheil der Pochwerke liegt in dem Umstande, dass, je dicker das unter dem Pochstempel befindliche Erzstück ist, desto geringer die Fallhöhe und desto geringer also auch die Schlagwirkung ausfällt. Gerade die grösseren Stücke, welche kräftigere Schläge vertragen würden, ohne zu Mehl zerstampft zu werden, erhalten schwächere Schläge, die kleineren stärkere. Aus diesem Grunde ist es trotz der erwähnten Anwendung einer rostförmigen Pochsohle schwierig, Ungleichförmigkeiten in der Korngrösse des zerkleinten Erzes ganz zu vermeiden. Die Ausnutzung der mechanischen Arbeit ist ausserdem, wie sich schon aus dem oben mitgetheilten Coëfficienten ergiebt, eine ziemlich ungünstige; man rechnet, dass ein Pochwerk per Pferdestärke der Betriebsmaschine in 12stündiger Arbeit 3000—3500 kg Erz zu zerkleinern im Stande sei, weniger, als bei den nachfolgend beschriebenen Zerkleinerungsmaschinen.

Aus diesen Gründen sind die vor dreissig Jahren noch ziemlich allgemein angewendeten Pochwerke in den Eisenhütten mehr und mehr verschwunden und haben zweckmässigeren Einrichtungen Platz gemacht. Nicht ohne einen gewissen Vortheil benutzt man sie jedoch auch jetzt noch in solchen Fällen, wo sehr harte Erze, die leicht eine Beschädigung des arbeitenden Theiles der Maschine herbeiführen, zerkleint werden sollen. Zwar erleiden auch die Pochschuhe eine allmähliche Abnutzung, welche von Zeit zu Zeit eine Ergänzung erforderlich macht; ihre Herstellungskosten aber sind verhältnissmässig unbedeutend, und die Härte der Erze kommt bei der Abnutzung der Pochschuhe weniger in Betracht als bei den betreffenden Theilen anderer Maschinen.

b. Walzwerke.

Zwei gusseiserne horizontale Walzen mit glatten oder häufiger mit geriffelten Oberflächen, welche parallel neben einander in einem entsprechend eingerichteten Gerüste gelagert sind, werden durch Getriebe, deren Wellen durch einfache Kupplungen mit den verlängerten Walzenzapfen verbunden sind, und deren Zähne in gegenseitigem Eingriffe stehen, in entgegengesetzte Drehung versetzt, so dass die zu zerkleinernden Erze (Kohlen u. s. w.), welche von oben her auf die Walzen geschüttet werden, vermöge der Reibung zwischen ihnen hindurch geführt und dabei auf die dem Abstande der Walzenoberflächen von einander entsprechende Korngrösse zerkleinert werden.

Die Anwendung geriffelter Walzen erleichtert hierbei die Mitnahme der aufgeschütteten Erzstücke; je stärker aber bei dem einmaligen Durchgange die Zerkleinerung, also auch der von den Erzen ausgeübte Widerstand ist, desto leichter sind die Riffeln (Cannelirungen) der Walzen selbst einer Beschädigung durch Abbrechen ausgesetzt. Aus diesem Grunde findet man nicht selten zwei Paar Walzen über einander angeordnet; die oberen mit gröberen Riffeln und im weiteren Abstande von einander für die erste Zerkleinerung der aufgeschütteten Erze, die darunter befindlichen, feiner geriffelten und näher zusammengestellten für die letzte Zerkleinerung.

Um aber fernerhin eine Beschädigung der Walzen durch ausnahmsweise harte Stücke, welche dazwischen gerathen sollten, nach Möglichkeit zu vermeiden, pflegt man die Lager der einen Walze des Walzenpaares in horizontaler Richtung verschiebbar zu machen und mit einer Vorrichtung zu versehen, dass die Walze, wenn der Druck ein gewisses Maass übersteigt, ausweicht und nach beendigtem Durchgange wieder an ihre Stelle zurückkehrt.

Ein Eisensteinswalzwerk mit zwei Walzenpaaren, wie es auf verschiedenen Harzer und anderen Eisenhütten in Anwendung ist, ist in Fig. 35, S. 180 abgebildet. Zwei kräftig gebaute Gusseisenständer *A* dienen zum Tragen der Walzenlager. Von diesen sind die an der rechten Seite befindlichen in ihrer Lage festgehalten; die Lager an der linken Seite dagegen sind in Führungen der Ständer nach links verschiebbar, während diejenige Stellung derselben, welche dem normalen Abstande der Walzenoberflächen von einander entspricht, durch angegossene Vorsprünge an den Ständern bezeichnet ist, über welche hinaus eine Verschiebung nach rechts nicht mehr möglich ist. In dieser Lage werden sie durch die mit Gegengewichten beschwerten Hebel *b b* festgehalten, deren kürzere Arme gegen die Bolzen *c c* und durch diese gegen die Lager drücken. Statt der, ihren Zweck übrigens vollständig erfüllenden und nur etwas schwerfälligen Hebel mit Gegengewichten wendet man bei neueren Walzwerken auch wohl Gummibuffer zu demselben Zwecke an.

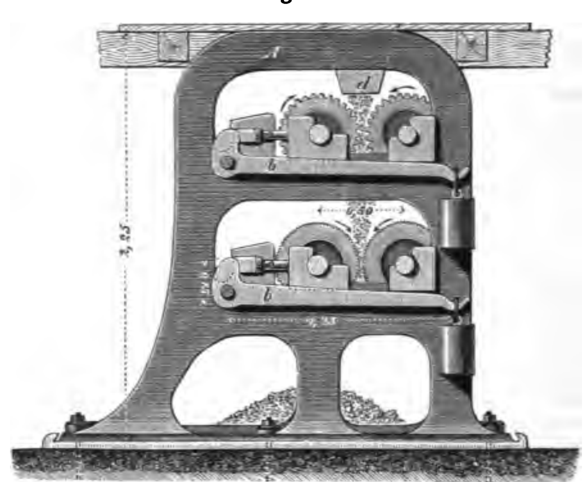
Damit die Verschiebung der Walzenlager ohne Gefahr für die Getriebezähne möglich sei, müssen die letzteren stark und mit breiter Theilung construirt sein.

Alles Weitere wird ohne Erläuterung verständlich sein. Die Erze werden von der in der Ebene der Oberkante der Ständer angebrachten

Bühne aus, welche gewöhnlich vermittels einer schiefen Ebene von unten her zugänglich gemacht ist, durch den Trichter *d* zwischen die Walzen geschüttet.

Um die bei eintretender Abnutzung der Walzenoberflächen erforderliche Auswechselung weniger kostspielig zu machen, stellt man die Walzen aus zwei Theilen her, wie in der Abbildung erkennbar: einem äusseren, zum Auswechseln bestimmten Ringe aus hartem Gusseisen (am besten Hartguss) und dem Kerne, an dessen Verlängerung sich die Lauf- und Kupplungszapfen befinden. Beide Theile sind auf gleiche Durchmesser aus- beziehentlich abgedreht; bei der Befestigung erwärmt man den Ring etwas, so dass sein Durchmesser sich ein wenig vergrössert, schiebt ihn über den Kern und befestigt ihn vollends mit

Fig. 35.



einem Keile, der, wie gewöhnlich, in eine entsprechende Nuth eingeschoben wird.

Man pflegt den Walzen der Eisensteinswalzwerke 500—700 mm Durchmesser bei 500—900 mm Länge (excl. der Zapfen) und eine Umfangsgeschwindigkeit von 500—900 mm per Secunde zu geben. Die Leistungsfähigkeit der Walzwerke ist selbstverständlich von dem Härtegrade der Erze wie von dem Maasse der Zerkleinerung abhängig, immerhin aber günstiger als bei Pochwerken. Durchschnittlich wird man per Pferdestärke der Betriebsmaschine in 12stündiger Arbeit eine Leistung von 4000 kg zerkleinertem Erz veranschlagen können; Wedding führt als Beispiel an, dass ein von der Fabrik Humboldt in Kalk gebautes einpaariges Walzwerk mit ca. 700 mm starken Walzen bei 20 Umdrehungen per Minute in 12 Stunden 60 000 kg Erz zerkleinere und dabei eines Arbeitsaufwandes von 15 Pferdestärken bedürfe.

Vor den Pochwerken haben die Walzwerke den Vortheil, dass die Korngrösse der in ihnen zerkleinerten Erze gleichmässiger und leichter regulirbar ist. Seit dem Anfange dieses Jahrhunderts, wo sie zuerst in

Cornwall für die Aufbereitung der Erze eingeführt wurden, haben sie daher gerade in den Eisenhütten jenes Vorzuges halber vielfach die Pochwerke verdrängt, bis sie in neuester Zeit wiederum selbst durch die sogleich zu besprechenden Steinbrecher in den Hintergrund gedrängt wurden.

c. Erzquetschen oder Steinbrecher.

Diese im Jahre 1858 von dem Amerikaner Blake erfundenen Maschinen haben, nachdem die ihnen zuerst anhaftenden Mängel glücklich beseitigt wurden, eine zunehmende Verbreitung gefunden und bilden jetzt auf den Eisenwerken die am häufigsten benutzten Zerkleinerungsmaschinen für Erze und Zuschläge. Ihre Vorzüge gegenüber den bisher besprochenen Maschinen bestehen vornehmlich in einer geringen Raumbeanspruchung bei grosser Leistungsfähigkeit; den Pochwerken gegenüber zeichnen sie sich ausserdem durch grössere Gleichmässigkeit in der Korngrösse der zerkleinten Körper und Leichtregulirbarkeit dieser Korngrösse vortheilhaft aus.

Fig. 36 und 37 zeigen die Einrichtung einer solchen verbesserten Erzquetsche, von der Georgs-Marienhütte gebaut und dort zum Zerkleinern der Erze für den Hochofenbetrieb benutzt.[1]) Der arbeitende Theil derselben besteht aus einer festen und einer beweglichen Backe *c* und *d*, aus Hartguss oder Gussstahl gefertigt und mit geriffelter Oberfläche versehen. Die feste Backe ist in der Giebelwand des kräftigen gusseisernen Rahmens, welcher zum Tragen sämmtlicher Theile der Maschine dient, eingesetzt und mit Keilen befestigt; die Backe *d* ist in ähnlicher Weise in einer starken Gusseisenplatte befestigt, welche pendelartig um die Achse *C* schwingt und auf diese Weise bei ihrer Hin- und Herbewegung die Backen in rascher Aufeinanderfolge abwechselnd einander nähert und von einander entfernt. Die von oben zwischen die Backen geworfenen Erzstücke rücken hierbei immer tiefer und werden zu einer dem Abstande der Backen von einander an der engsten Stelle entsprechenden Korngrösse zerdrückt. Zur Hervorbringung dieser Bewegung ist in der Mitte der Maschine die von einer Riemenscheibe aus angetriebene, mit zwei Schwungrädern versehene gekröpfte Welle *A* gelagert, welche die an ihrer Kröpfung angreifende Zugstange *a* in auf- und abgehende Bewegung versetzt. Hierdurch wird der aus zwei starken Eisenplatten gebildete Kniehebel *ff* abwechselnd gebeugt und gestreckt und ertheilt hierbei, wie aus Fig. 36 unschwer zu erkennen ist, der Backe *d* die beschriebene Bewegung. Zur grösseren Sicherung derselben ist die erwähnte Backe an ihrer Rückseite an eine bufferartige, ebenfalls in der Abbildung erkennbare Vorrichtung angeschlossen, welche den Hub der Backe begrenzt und sie rasch zurückführt, somit verhindert, dass der nur lose eingesetzte Hebel zwischen Backe und Zugstange herausfalle.

Durch Einsetzen verschieden langer Hebel lassen sich verschiedene Korngrössen erzielen; innerhalb gewisser Grenzen jedoch ist die Korngrösse auch ohne Hebelauswechselung durch Verschiebung des an einer

1) Ztschr. d. Ingenieur- u. Architekten-Vereins für Hannover, Bd. XVII, S. 319.

Schraube aufgehängten Keilstücks *e* regulirbar, wie ohne besondere Erläuterung leicht verständlich sein wird.

Die abgebildete Maschine ist mit Rädern versehen, um ohne Schwierigkeit transportirt werden zu können; an dem Orte ihrer Verwendung wird sie in irgend einer Weise befestigt und die an den Rahmen seitlich angegossenen Laschen ermöglichen die Verschraubung auf einem entsprechend hergestellten Fundamente.

Fig. 36.

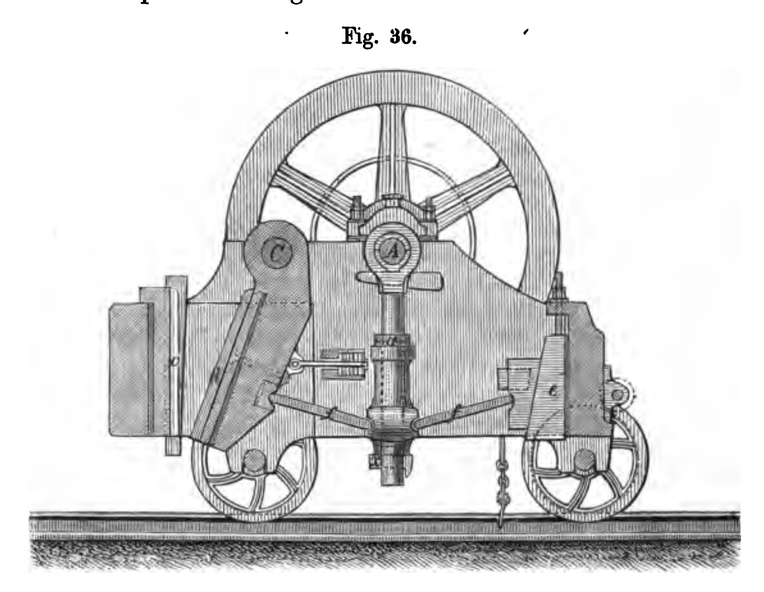
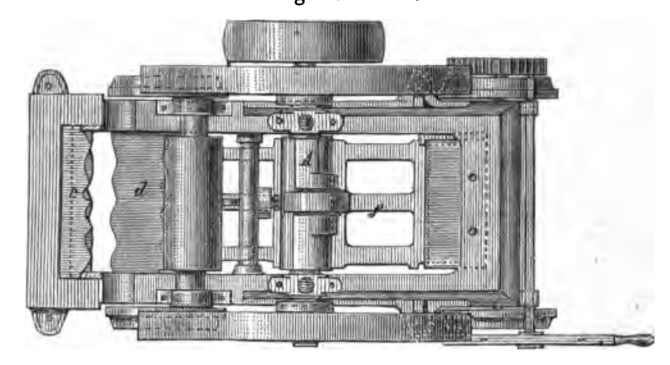


Fig. 37.



Man giebt den Erzquetschen ca. 200 Hübe per Minute und kann nach Wedding rechnen, dass mit einem Arbeitsaufwande von 5—10 Pferdestärken in 12 Stunden durchschnittlich 60 000 kg Erz zerkleint werden. Bei weniger harten Erzen ist die Leistung noch grösser. Die abgebildete Georgs-Marienhütter Maschine zerkleint mit einem Arbeitsaufwande von 3—4 Pferdestärken 10 000 kg Spatheisenstein und Kalk in etwa $1^1/_2$ Stunden auf Faust- bis Eigrösse.

B. Das Waschen.

Mitunter, wenn auch nicht gerade häufig, unterwirft man die Erze einem Waschprocesse, um sie eines Theiles ihrer fremden Beimengungen, insbesondere des anhaftenden Thones und Sandes zu befreien. Vorzugsweise sind es die mit Thon durchsetzten Bohnerze, welche in dieser Weise behandelt werden.

Das Verfahren beruht im Wesentlichen auf denselben Vorgängen wie das Waschen der Steinkohlen (S. 53), d. h. auf der verschiedenen Geschwindigkeit, welche verschieden schwere Körper beim Falle in ruhig stehendem oder bei der Bewegung in fliessendem Wasser annehmen; während aber bei den Steinkohlenwäschen die nutzbaren Körper die leichteren, die schädlichen Körper die schwereren Bestandtheile des Gemisches sind, tritt bei dem Waschen der Erze der umgekehrte Fall ein: die Erze sind specifisch schwerer, die thonigen und sandigen Körper leichter und, was in diesem Falle noch die Trennung erleichtert, auch durchschnittlich von geringerer Korngrösse.

Eine Classirung der Erze nach der Korngrösse vor dem Waschen, welche aus früher erörterten Gründen in den Steinkohlenwäschen unumgänglich ist, pflegt deshalb bei den Eisenerzwäschen entbehrlich zu sein; das ganze Verfahren ist schon aus dem Grunde gewöhnlich einfacher als dort, weil eine so gründliche Sonderung der Erze von den Gangbestandtheilen überhaupt nicht erforderlich ist.

Die einfachste Vorrichtung zum Waschen besteht aus **Gerinnen (Gräben)** mit einer Neigung von 5—10 Grad gegen die Horizontale, in welchen die Erze der Einwirkung fliessenden Wassers ausgesetzt und durch eine Reihe am Rande des Grabens aufgestellter Arbeiter mit Krücken dem Strome wiederholt entgegengeführt werden. Nach Rittinger[1]) soll man den aus Holz gezimmerten Gerinnen ca. 0.65 m Breite, 0.30 m Tiefe und 2.5—3.75 m Länge bei einer Neigung von höchstens 18 mm auf 1 m Länge geben. Zweckmässig kann es sein, in diesen Gerinnen einzelne quer durchgehende Schwellen anzuordnen, hinter welchen das Wasser und Erz sich stauen; die obere Seite der Schwelle wird abgeschrägt, so dass sie nach rückwärts gegen den Boden des Gerinnes sich als schiefe Ebene ansetzt und die Schwelle dreiseitigen Querschnitt erhält. Das Wasser mit den Schlammtheilchen lässt man in die wilde Fluth ablaufen, die Erze werden nach beendigter Wäsche mit siebartig durchlochten Schaufeln ausgeschöpft. Bei einem Verbrauche von $^1/_4$—$^1/_2$ cbm Wasser per Minute und per Gerinne beträgt die Menge des gewaschenen Erzes bis zu 10 000 kg per Stunde, sofern es nicht an Arbeitskräften fehlt.

Bei den hohen Arbeitslöhnen jedoch, welche ein derartiges Verfahren erheischt, wendet man, wo das Waschen in grösserem Umfange durchgeführt werden soll, maschinelle Vorrichtungen dafür an.

Mitunter benutzt man halbcylindrische Tröge, in welchen eine Schraube mit horizontaler Achse sich dreht und das an einem Ende eingeschüttete Erz vorwärts schiebt, dabei vermöge der stattfindenden Reibung Sand, Thon und dergl. ablösend, während ein Wasserstrom

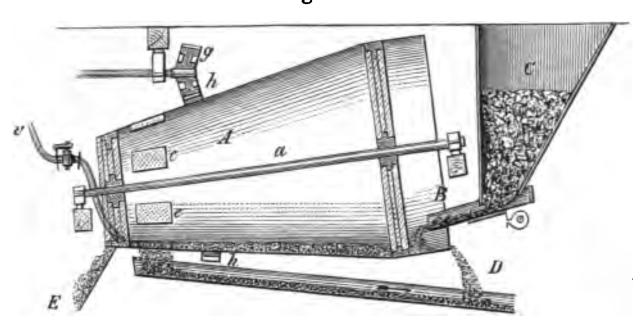
1) Lehrbuch der Aufbereitungskunde, S. 232.

in entgegengesetzter Richtung eingeführt wird und den Schlamm fortführt.[1])

Häufiger und auch wohl vollkommener in ihrer Wirkung sind rotirende Trommeln aus Eisenblech. In ihrer äusseren Form sind sie den früher beschriebenen Classirtrommeln für Steinkohlenaufbereitung ähnlich und, wie diese, cylindrisch oder conisch, wobei die Vorwärtsbewegung des Erzes entweder durch spiralförmig an der Innenwand angebrachte Gänge aus Winkeleisen oder durch die geneigte Richtung der Trommelwand hervorgerufen wird; sie sind aber, da sie nicht zur Classirung verschiedener Korngrössen dienen sollen, sondern nur dazu bestimmt sind, bei ihrer Umdrehung die Erze in stetige Reibung unter sich wie mit dem eingeleiteten Wasser zu bringen, entweder gar nicht oder nur so weit gelocht, als zur Ableitung des schlammhaltigen Wassers erforderlich ist. Das Wasser wird in den meisten Fällen in umgekehrter Richtung als die Erze zu- und abgeleitet. Die Stirnflächen der Trommeln sind so weit geschlossen, als erforderlich ist, die nöthige Wassermenge in der Trommel zu erhalten.

Die Einrichtung der Eisenerz-Waschtrommeln im Besondern zeigt mannigfache Abweichungen. Eine ziemlich einfache derartige Waschvorrichtung, welche nach Kerpely's Bericht über die Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878 von Austruy construirt wurde und auf dem Eisenwerke zu Cuzon, Departement Lot-et-Garonne, mit gutem Erfolge sich im Betriebe befindet, ist in Fig. 38 abgebildet.[2]) Die conische, an dem

Fig. 38.



weiteren Ende mit einem cylindrischen Ansatze *B* versehene Trommel *A* ist auf der geneigten Achse *a* befestigt; die Neigung der letzteren ist eine solche, dass das Erz, welches aus dem Fülltrichter *C* bei *B* in die Trommel eintritt, auf dem schwach ansteigenden Boden der letzteren langsam vermöge seines eigenen Schubes nach dem entgegengesetzten Ende fortgleitet, während das Wasser, welches in einem regulirbaren Strome durch das Rohr *v* zutritt, den umgekehrten Weg nimmt und schliesslich sammt den mitgenommenen Thon- und Sandtheilchen über den Rand der Trommel bei *D* abfliesst. Acht Sieböffnungen *c c* an dem

---

1) Annales des mines, 1864, 4. livr.

2) Die Zeichnung ist ursprünglich der Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen entnommen.

engeren Ende der Trommel dienen dazu, schon hier einen Theil des Wassers mit den letzten, den Erzen noch anhaftenden Schlammtheilchen abzuführen und hierdurch die Reinigung der nachrückenden Erze zu erleichtern. Die regelmässige Zuführung der Erze wird durch eine in der Abbildung angedeutete Rüttelvorrichtung unter dem Fülltrichter *C* bewirkt; die gewaschenen Erze stürzen durch die Lutte *E* in bereit stehende Wagen. Die Bewegung der Trommel erfolgt durch einen am Anfange derselben befestigten Zahnkranz *h* von einem an der Transmissionswelle befindlichen Getriebe *g* aus.

Die Leistung einer solchen Waschtrommel soll 10 000 kg Roherz per Stunde betragen, wobei das Erz etwa 10 Minuten in der Trommel verweilt; der erforderliche mechanische Arbeitsverbrauch incl. des Anhebens des gewaschenen Erzes auf eine Höhe von 10 m sechs Pferdekräfte.[1])

Die Kosten des Waschens der Erze werden sich dem abweichenden Gehalte an fremden Körpern wie den abweichenden benutzten Einrichtungen entsprechend verschieden hoch beziffern. Wedding giebt als Beispiel die Kostenberechnung einer Wäsche auf der Königl. Eisensteinsgrube zu Mardorf in Hessen in den Jahren 1867—1869, wobei sich ein durchschnittlicher Kostenaufwand von 7.8 Pf. per Centner (50 kg) gewaschenen Erzes (Bohnerzes) ergiebt (also 1.56 Mark per Tonne); auf französischen Wäschen sollen einer von Dürre aus einem französischen Werke entnommenen Notiz zufolge die Kosten für Eisenerze nur 0.16 Mark per Tonne betragen[2]), eine Angabe, welche so niedrig gegriffen erscheint, dass man an einen Druckfehler zu glauben versucht ist.

C. Das Rösten.

a. Allgemeines.

Rösten der Erze nennt man eine vorbereitende Erhitzung der Erze ohne eigentliche Schmelzung. Im geschmolzenen Zustande der Erze würden chemische Einwirkungen der Bestandtheile auf einander stattfinden, welche beim Rösten nicht beabsichtigt sind und die spätere Verhüttung erschweren würden. Es würde eine Verschlackung der Eisenoxyde mit den fremden Bestandtheilen eintreten und die Erze würden durch diesen Vorgang an Reducirbarkeit verlieren, wie ja alle eisenhaltigen Schlacken schwieriger reducirbar sind, als die freien Eisenoxyde.

Aus diesem Grunde ist es beim Rösten der Eisenerze Regel, die Temperatur auch nicht einmal bis zum Sintern der Erze, d. h. beginnenden Zusammenbacken, zu steigern; Ausnahmen von dieser Regel kommen allerdings vor und sind durch besondere, später zu erörternde, Gründe gerechtfertigt.

---

1) Eine ausführliche Beschreibung nebst Abbildungen einer grösseren Erzwäsche, von der Fabrik Humboldt (vormals Sievers & Co. in Kalk bei Deutz) gebaut, enthält Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abth. 2, S. 512 ff.; fernere Abbildungen von Eisenerzwäschen: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Taf. XXXVIII, XXXIX und XL.

2) Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 158.

Der **Zweck des Röstens** kann ein verschiedener sein.

In einzelnen Fällen, wenn auch verhältnissmässig selten, beabsichtigt man eine Auflockerung harter und dichter Erze durch die Temperaturveränderungen, also durch rein physikalische Einflüsse herbeizuführen. Es entstehen Risse und Spalten in den Erzstücken, das Erz wird mürbe, lässt sich weit leichter zerkleinern und ist den Einflüssen reducirender Gase leichter zugänglich. Der beabsichtigte Erfolg des Röstens wird in diesem Falle erleichtert, wenn man das noch heisse Erz mit kaltem Wasser ablöscht.

Häufiger beabsichtigt man, durch die Röstung eine Zersetzung gewisser chemischer Verbindungen, sei es der Erze selbst oder der fremden Beimengungen derselben, unter Verflüchtigung nachtheiliger Bestandtheile zu bewirken.

Unter den Erzen selbst treten uns als solche zersetzbare Verbindungen zunächst die Hydrate (Brauneisenerze) und Carbonate (Spatheisensteine) entgegen. Brauneisenerze werden unter Abgabe ihres Wassergehaltes in Eisenoxyde, wirkliche Rotheisenerze, umgewandelt; Spatheisensteine und Sphärosiderite entlassen bei der Zersetzung ein Gemisch von Kohlensäure und Kohlenoxyd und hinterbleiben als Eisensauerstoffverbindungen, deren Sauerstoffgehalt in jedem Falle höher ist als der des Eisenoxyduls $Fe\,O$, jedoch nach der Höhe der angewendeten Temperatur und den sonstigen bei der Zersetzung thätigen Einflüssen Abweichungen zeigt, so dass ihre Zusammensetzung zwischen $Fe_6\,O_7$ und $Fe_2\,O_3$ schwanken kann.[1])

Auch kohlensäurehaltige Zuschläge — Kalksteine und Dolomite — werden durch Röstung zersetzt und es hinterbleiben die einfachen Oxyde.

Die Erfahrung hat jedoch im Laufe der Jahre gelehrt, dass jene Austreibung von Wasser und Kohlensäure aus den Erzen und Zuschlägen durch vorausgehende Röstung nicht immer diejenigen Vortheile bei der nachfolgenden Verhüttung gewährt, als man früher, noch in der Mitte dieses Jahrhunderts, allgemein annahm. Die Ursachen dafür werden bei der Besprechung der Processe selbst, insbesondere des Hochofenprocesses, verständlich werden. Insbesondere hat sich die Zersetzung der Hydrate vor der Verhüttung als vollständig erfolglos erwiesen. Deshalb sieht man jetzt ziemlich allgemein von der Röstung der Brauneisenerze ab, sofern nicht andere Gründe dafür vorliegen.

Ebenso ist die Röstung von Kalksteinen und Dolomiten, welche als Zuschläge für die Verhüttung von Erzen im Hochofen bestimmt sind, nicht im Stande, einen wirklichen Nutzen hervorzurufen. Nur bei einem in neuester Zeit eingeführten Processe, bei welchem zur Bildung basischer Schlacken Kalk zu geschmolzenem Eisen gesetzt werden muss — dem basischen Bessemerprocesse oder Thomasprocesse — ist eine vorausgehende Röstung des Kalksteins erforderlich, damit nicht durch die starke Wärmebindung beim Zerlegen der Carbonate eine Abkühlung des geschmolzenen Eisens herbeigeführt werde.

Spatheisenerze und Sphärosiderite werden, wenn auch nicht sämmtlich, so doch zum grossen Theile vor der Verhüttung geröstet. Die zur

---

1) Das Oxyd $Fe_2\,O_3$ entsteht allerdings nur, wenn zugleich freier Sauerstoff Zutritt hat.

Zersetzung der Carbonate erforderliche Temperatur — ca. 800° C. — ist höher als diejenige, bei welcher die Reduction des gerösteten Erzes beginnt, so dass aus diesem Grunde die spätere Reduction des Erzes durch die Röstung erleichtert wird; ausserdem aber wirkt aus sogleich zu erörternden Gründen auch die bei oxydirender Röstung stattfindende Umwandlung in Eisenoxyd günstig auf die Reducirbarkeit des Erzes.

Manganerze mit reichem Sauerstoffgehalte — jene oben besprochenen Braunsteine oder Pyrolusite — entlassen bei starker Röstung einen Theil ihres Sauerstoffgehaltes und wandeln sich in Manganoxydoxydul $Mn_3 O_4$ um. Letzteres ist leichter verarbeitbar als jene, und diese Desoxydation durch Röstung wirkt daher förderlich auf die Verhüttung. Erleichtert wird dieselbe durch reducirende Atmosphäre (Kohlenoxydgas) beim Rösten.

Unter jenen Körpern, welche aus den fremden Gemengtheilen der Erze durch Röstung sich austreiben lassen, ist der wichtigste der Schwefel.

Als schwefelhaltige Beimengung der Eisenerze tritt uns vorzugsweise häufig der Schwefelkies ($Fe S_2$) entgegen; auch nicht selten der chemisch ebenso als jener zusammengesetzte Strahlkies oder Markasit; ferner Magnetkies ($Fe_8 S_9$), Kupferkies ($Cu Fe S_2$), Arsenkies ($Fe S As$), Zinkblende ($Zn S$), Bleiglanz ($Pb S$). Besonders reich an diesen schwefelhaltigen Mineralien pflegen Magneteisenerze und Spatheisensteine zu sein. Das Verhalten des Schwefels beim Rösten aber kann ein verschiedenes sein, je nachdem er in dieser oder jener Verbindung auftritt.

Schwefelkies und Strahlkies werden schon in niedriger Temperatur zersetzt, indem annähernd die Hälfte Schwefel verflüchtigt wird (bei Luftzutritt zu schwefliger Säure verbrennend, bei Abschluss der Luft als Schwefeldampf entweichend) und eine Verbindung zurückbleibt, deren Zusammensetzung ungefähr der des Magnetkieses entspricht. Durch einfache Erhitzung ohne Luftzutritt ist nun diese niedrigere Schweflungsstufe des Eisens nicht mehr zersetzbar. Hat jedoch der atmosphärische Sauerstoff Zutritt zu dem glühenden Schwefeleisen, so verbrennt ein weiterer Theil des Schwefels, um als schweflige Säure sich zu verflüchtigen; der Rest bildet zunächst mit dem übrig gebliebenen Eisen Ferrosulfat (Eisenvitriol), welches jedoch schon in Rothgluth ebenfalls zerlegt wird. Ein Theil des Sauerstoffs der Schwefelsäure wird zur Höheroxydation des Eisens benutzt, basisch schwefelsaures Eisenoxyd wird gebildet und schweflige Säure verflüchtigt; bei noch weiterer Steigerung der Temperatur wird auch dieses basische Eisensalz zerlegt, Schwefelsäure wird ausgetrieben und Eisenoxyd bleibt zurück.

Da bei dem beschriebenen Verlaufe des Zersetzungsprocesses aus dem Schwefelkies beziehentlich Strahlkies zuerst Magnetkies entsteht, so folgt von selbst, dass dieser, wo er natürlich auftritt, sich beim Rösten auch ebenso wie jener verhalten, d. h. bei ausreichendem Luftzutritt und ausreichend hoher Temperatur sich in Eisenoxyd umwandeln und seinen Schwefelgehalt abgeben wird. Theoretisch ist also durch eine entsprechend geleitete Röstung eine vollständige Entschwefelung der Eisenerze möglich, wenn deren Schwefelgehalt auf dem Vorkommen der erwähnten drei Mineralien beruht. In der Wirklichkeit wird diesem Vorgange allerdings durch den Umstand ein Ziel gesteckt, dass zu dem

Schwefelgehalte, der im Innern der Erzstücke eingeschlossen ist, die Luft immerhin nur beschränkten Zutritt erhält. Eine Zersetzung und Entschweflung dieser im Innern dichter Erzstücke eingeschlossenen Kiese ist jedoch ebenfalls möglich, wenn die Temperatur sehr hoch, d. h. bis zum Sintern der Erze gesteigert wird. Das Erz selbst dient dann vermöge seines Sauerstoffgehaltes als Oxydationsmittel für den Schwefel; ein anderer Theil des bei der Erhitzung in jedem Falle zuerst entstehenden Einfachschwefeleisens schmilzt, saigert aus dem hocherhitzten Erzstücke aus und wird an der Oberfläche desselben dann ebenfalls oxydirt.[1])

Kupferkies wird ohne Luftzutritt nicht zerlegt; durch oxydirende Röstung dagegen entstehen schwefelsaure Salze, welche in Wasser löslich sind, in sehr hoher Temperatur aber unter Hinterlassung der Oxyde und Austreibung der Schwefelsäure zersetzt werden.

Arsenkies entlässt schon in dunkler Rothgluth einen Theil seines Schwefel- und Arsengehaltes als Schwefelarsen; in höherer Temperatur und unter Luftzutritt entsteht zunächst schwefelsaures und arsensaures Eisen, welches ersteres wie bei der Schwefelkiesröstung zerlegt wird, während das letztere unzersetzbar ist. Ein Theil des Arsens bleibt also bei dem Eisen zurück; das verflüchtigte Arsen, dessen Anwesenheit beim Rösten arsenhaltiger Erze sich gewöhnlich durch den bekannten knoblauchartigen Geruch deutlich verräth, wird bei Luftzutritt ganz oder theilweise zu Arsenigsäureanhydrid verbrannt.

Zinkblende bildet beim Rösten unter Luftzutritt Zinkoxyd neben Zinksulfat; letzteres aber ist durch Erhitzung nur in sehr hoher Temperatur zerlegbar. Seine Leichtlöslichkeit in Wasser giebt trotzdem ein Mittel an die Hand, es nach vollbrachter Röstung aus den Erzen zu entfernen.

Bleiglanz entlässt bei Luftzutritt schon in niedriger Temperatur einen Theil seines Schwefels als schweflige Säure; ein anderer Theil desselben bildet mit dem entstehenden Bleioxyd schwefelsaures Salz, welches wie das Zinksulfat einer sehr hohen Temperatur zur Zerlegung bedarf, dagegen nicht, wie dieses, in Wasser löslich ist.

Aus dem geschilderten Verhalten der verschiedenen in den Erzen auftretenden Schwefelverbindungen ergiebt sich, dass in jedem Falle ein grosser Theil des Schwefels durch Röstung der Erze ausgetrieben werden kann; dass die Entschweflung, in welcher Verbindung der Schwefel auftreten möge, um so vollständiger sein wird, je kleiner die Erzstücke sind, je stärker der Luftzutritt und je höher die Temperatur beim Rösten ist; und dass in vielen Fällen die Wirkung des Röstens durch eine nachfolgende Behandlung des Erzes mit Wasser zum Ausziehen der gebildeten löslichen Sulfate wesentlich unterstützt werden kann.

Die in früheren Jahren verschiedentlich vorgeschlagene und versuchsweise durchgeführte Anwendung von Wasserdampf beim Rösten

---

1) Jern-Kontorets Annaler 1829, p. 452; R. Åkerman, Om jernmalmers rostning, p. 28.

zur vollständigeren Zerlegung der anwesenden Schwefelmetalle hat einen praktischen Erfolg nicht gehabt. Wenn auch die chemische Einwirkung des Wasserdampfes nicht zu läugnen ist, so ist doch die Entschweflung nicht vollständiger, als sie auch durch stark oxydirende Röstung ohne Wasserdampf zu erreichen ist, die Kosten des Verfahrens, aber sind natürlich entsprechend höher.

Ausser in den genannten Schwefelmetallen findet sich Schwefel mitunter in natürlich vorkommenden, mit den Erzen verwachsenen Sulfaten, vornehmlich Gips, Anhydrit, Schwerspath. Eine Zerlegung derselben durch die beim Rösten erreichbare Temperatur ist nicht möglich; eine Abminderung des in dieser Form auftretenden Schwefelgehaltes (der übrigens von vorn herein geringere Bedeutung besitzt als in den zuvor besprochenen Fällen) durch Röstung also auch nicht zu erreichen. Aus demselben Grunde wirkt auch die Anwesenheit von Kalkspath neben Zinkblende u. s. w. nachtheilig. Es entsteht Calciumsulfat, welches nicht mehr zersetzt wird und auch im Wasser sich schwierig löst.

Ein dritter Zweck der Röstung ist die Höheroxydation eisenoxydulhaltiger Erze. Diese Erze sind Spatheisensteine, Sphärosiderite und Magneteisensteine. Die Erfahrung lehrt und durch wissenschaftliche Versuche ist es unzweifelhaft festgestellt worden[1], dass das Eisenoxyd $Fe_2 O_3$ reducirenden Einflüssen, insbesondere den Einflüssen reducirender Gase, leichter zugänglich ist als die niedrigeren Oxydationsstufen des Eisens, ganz besonders auch als das Oxyduloxyd, wie es uns im Magneteisenerze entgegentritt.

Dass Spatheisensteine und Sphärosiderite schon bei einfacher Röstung ohne Luftzutritt sich in Oxyduloxyde mit abweichendem Sauerstoffgehalte umwandeln, wurde bereits erwähnt; bei Röstung in oxydirender Atmosphäre gehen sie schliesslich mehr oder minder vollständig in wirkliches Eisenoxyd, durch die rothe Farbe deutlich gekennzeichnet, über.

Magneteisenerze erfordern, um in Eisenoxyd umgewandelt zu werden, einer längeren Einwirkung oxydirender Gase als die erwähnten Carbonate. Eine ganz vollständige Umwandlung in Oxyd wird bei jenen wie bei diesen Erzen in der Praxis kaum jemals zu erreichen sein, da immerhin die inneren Theile der Erzstücke der Einwirkung der oxydirenden Einflüsse nur unvollständig ausgesetzt sind; je mehr Oberfläche die Erzstücke darbieten, je kleiner also die einzelnen Stücke sind, je anhaltender die Erhitzung ist und mit je reichlicherem Luftzutritte dieselbe vor sich geht, desto mehr wird man sich jenem Ziele — der vollständigen Umwandlung des Oxyduls in Oxyd — nähern.

Selbst eisenreiche Schlacken (Frischschlacken, Schweissofenschlacken), deren Eisengehalt theils als Oxyd, zum grösseren Theile aber als Oxydul zugegen zu sein pflegt und welche nicht selten neben den Erzen als Material zur Eisendarstellung benutzt werden, lassen sich durch oxydirende Röstung höher oxydiren. Nach Tholander's Versuchen tritt hierbei eine förmliche Zerlegung derselben unter Ausscheidung von Kieselsäure ein, und ihre Reductionsfähigkeit wird durch diesen Vorgang bedeutend erhöht. Die Zeitdauer für diese Höheroxydation der Silikate

1) Vergl. die unter Literatur erwähnte Abhandlung von H. Tholander.

aber ist erheblich länger, der ganze Process schwieriger durchführbar als bei den eigentlichen Erzen; und hierin liegt wohl der Grund, weshalb man von der Röstung der Schlacken, obgleich deren erfolgreiche Durchführung die Verhüttung erheblich erleichtern würde, doch in der Praxis nur ausnahmsweise Gebrauch macht.

Aus den bisherigen Ausführungen erklärt es sich zur Genüge, dass nur ein Theil der gesammten Erze, und zwar der kleinere Theil derselben, einer Röstung vor der Verhüttung unterworfen wird. Nicht allein die Beschaffenheit des Erzes selbst wie seiner Beimengungen, auch die Art des Verhüttungsprocesses ist hierbei maassgebend.

In den allermeisten Fällen werden die Erze im Hochofen auf Roheisen verarbeitet. Wird hierbei eine basische, insbesondere kalkerdereiche Schlacke gebildet, wie es bei dem Betriebe mit Koks oder mineralischen Brennstoffen im Allgemeinen der Fall zu sein pflegt, so besitzt dieselbe die Fähigkeit, den Schwefel der Erze aufzunehmen; für das erfolgende Roheisen also wird derselbe unschädlich, sofern nicht die Erze eine ungewöhnlich grosse Menge von Kiesen u. s. w. enthalten. Entsteht aber, wie in den meisten mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen, eine kieselsäurereichere, kalkerdeärmere Schlacke (Bi- bis Trisilikat), so geht ein grosser Theil des anwesenden Schwefels an das Eisen und benachtheiligt dessen Eigenschaften. In diesem Falle würde demnach eine Röstung schwefelreicher Erze nicht allein zweckmässig sondern sogar nothwendig sein, wenn brauchbares Eisen daraus dargestellt werden soll.

R o t h e i s e n e r z e werden nur ausnahmsweise geröstet, wenn entweder ein grosser Schwefelgehalt ausgetrieben werden oder eine mürbere Beschaffenheit der Erze hervorgerufen werden soll.

B r a u n e i s e n e r z e werden, wie schon erwähnt wurde, auch nur in denselben Ausnahmefällen wie die Rotheisenerze der Röstung unterzogen, nachdem die bei der Röstung stattfindende Austreibung ihres Wassergehaltes sich als nutzlos für die spätere Verhüttung gezeigt hat.

S p a t h e i s e n s t e i n e und S p h ä r o s i d e r i t e (sowie Kohleneisensteine und verwandte Erzsorten) werden der Regel nach geröstet, um in Eisenoxyd umgewandelt zu werden, theilweise auch zur Austreibung ihres mitunter nicht unbeträchtlichen Schwefelgehaltes. Für Darstellung gewisser Eisensorten pflegt man allerdings neben den gerösteten Erzen auch kleinere oder grössere Mengen ungeröstete derselben Gattung mit zu verhütten.

M a g n e t e i s e n e r z e werden fast ohne Ausnahme zur Höheroxydation geröstet.

M a n g a n e r z e werden mitunter zur Abminderung ihres Sauerstoffgehaltes geröstet. Je höher derselbe ist, desto zweckmässiger ist die Röstung.

Z u s c h l a g s k a l k s t e i n e und D o l o m i t e werden, sofern sie für den Hochofenbetrieb bestimmt sind, selten, für den basischen Bessemerbetrieb dagegen regelmässig geröstet (gebrannt).

Eisenreiche Schlacken, sofern sie als Material für den Hochofenbetrieb bestimmt sind, werden in Rücksicht auf die oben erwähnte Schwierigkeit der Erlangung eines Erfolges, d. h. einer durchgreifenden Höheroxydation, nur ausnahmsweise geröstet.

Da bei der Röstung aller derjenigen Erze, bei welchen entweder eine Entschweflung oder eine Höheroxydation beabsichtigt wird, der Zweck nur erreicht werden kann, wenn eine genügende Menge freien Sauerstoffes während des Röstens Zutritt findet, in den selteneren Fällen aber, wo Eisenerze oder Zuschläge aus anderen Gründen geröstet werden, jener Zutritt der Luft wenigstens nicht nachtheilig auf den Erfolg einwirkt[1]), so pflegt man die Röstung der Eisenerze und Zuschläge stets in oxydirender Atmosphäre vorzunehmen.

Nur beim Rösten von sauerstoffreichen Manganerzen würde, wie erwähnt, die beabsichtigte Umwandlung derselben in Manganoxyd durch eine Röstung in reducirender Atmosphäre nicht unerheblich erleichtert werden.

Die am zweckmässigsten anzuwendende **Temperatur beim Rösten** muss von der Beschaffenheit der Erze abhängig sein.

Je leichter die Erze mit den beigemengten Gangarten verschlacken, desto niedriger muss die Rösttemperatur gehalten werden. Erze, welche mit Quarz fein durchwachsen sind, ertragen deshalb durchschnittlich geringere Temperaturen als quarzfreie.

Eisenoxyd und Kalk schmelzen in hoher Temperatur zu einer weniger leicht reducirbaren Verbindung als das reine Eisenoxyd zusammen.[2]) Es folgt hieraus, dass auch für kalkige Rotheisenerze, sofern diese ausnahmsweise dem Röstprocesse unterworfen würden, eine allzu hohe Temperatur nachtheilig sein würde.

Jene Höheroxydation der Carbonate und Magnetite aber, welche in den allermeisten Fällen der Hauptzweck der Röstung ist, wird vollständiger durch eine längere Zeitdauer der Einwirkung freien Sauerstoffes als durch übermässig gesteigerte Temperatur erreicht. Helle Rothgluth ist für diesen Zweck die geeignetste Temperatur. Bei stärkerer Erhitzung wird im Gegentheile vorhandenes Eisenoxyd unter Sauerstoffabgabe theilweise zu Oxydoxydul reducirt, der beste Beweis dafür, dass eine zu hohe Temperatur nicht förderlich für die Höheroxydation der in Rede stehenden Erze sein kann.[3])

Ist dagegen der Hauptzweck der Röstung eine weitgehende Entschweflung, so ist allerdings eine höhere Temperatur erforderlich als für einfache Höheroxydation der Erze; und es rechtfertigt sich hieraus

---

1) Nachtheilig kann ein unnöthig grosser Luftüberschuss auf den Brennstoffverbrauch einwirken, indem er von der gesammten entwickelten Wärme einen Theil für die eigene Erhitzung beansprucht und dadurch die Temperatur herabdrückt.

2) Vergl. Tholander's erwähnte Abhandlung, S. 118.

3) Diese schon früher bekannte Thatsache wurde durch mehrere Versuche von Tholander bestätigt. Eisenoxyd wurde durch einfache Erhitzung zum starken Glühen in Oxyduloxyd umgewandelt, dessen Sauerstoffgehalt in einzelnen Fällen noch niedriger war als der durchschnittliche Sauerstoffgehalt der Magneteisenerze.

der Umstand, dass man in diesem Falle, z. B. auf schwedischen Eisenwerken, schwefelkiesreiche Magneteisenerze selbst bis zur beginnenden Schmelzung erhitzt. Die Vorgänge, welche hierbei eine Austreibung des Schwefels selbst aus dem Innern dichter Erzstücke bewirken, wurden bereits auf S. 188 besprochen.

Da der Zweck der Röstung in allen Fällen, wo derselbe in einer Höheroxydation oder einer Entschweflung besteht, um so vollständiger erreicht wird, je grössere Oberfläche die einzelnen Erzstücke darbieten und je kleiner ihr Rauminhalt ist, so empfiehlt es sich, zuerst die Zerkleinerung der Erze vorzunehmen und auf diese erst die Röstung folgen zu lassen. Wenn man trotzdem nicht selten den umgekehrten Weg einschlägt, die Zerkleinerung auf die Röstung folgen lässt, so liegt der Grund zu diesem Verfahren in dem Umstande, dass die Erze durch die Röstung weit mürber werden, sich im gerösteten Zustande also mit einem geringeren Aufwande von Arbeit zerkleinern lassen und die Zerkleinerungsapparate weniger abnutzen.

Wo die Arbeitslöhne niedrig, die zum Rösten verwendbaren Brennstoffe billig, die gesammten Röstkosten also nicht hoch sind, bringt man in Rücksicht auf diese Verhältnisse wohl ein zweimaliges Rösten zur Anwendung, das erste vor, das zweite nach der Zerkleinerung.

Kennzeichen gut gerösteter Erze. Da verschiedene Erze für ihre Röstung verschiedene Temperaturen erfordern, so sind die Merkmale für ein gut geröstetes Erz auch nicht immer genau dieselben. In den meisten Fällen darf die Temperatur aus den erörterten Gründen nicht bis zum beginnenden Schmelzen der Erzstücke gesteigert werden; zeigen sich also zusammengebackene verschlackte Massen, so ist das ein Zeichen, dass die Temperatur zu hoch war.

Die Farbe der gerösteten Erze muss, da bei der Röstung Eisenoxyd gebildet werden soll, roth sein, und im Allgemeinen lässt sich ein Erz als um so besser geröstet betrachten, je deutlicher, gleichmässiger dieses Roth hervortritt. Nur jene Erze, welche zum Zwecke einer völligen Entschweflung bis zum Sintern erhitzt wurden, machen hiervon eine Ausnahme; sie zeigen gewöhnlich eine blaugraue Farbe, welche ebensowohl dem Eisenoxyduloxyd als dem geschmolzenen Eisenoxyd eigenthümlich ist.

Zerschlägt man ein Stück gerösteten Erzes, so muss das Innere dasselbe Aussehen zeigen als die Oberfläche; zeigt sich ein Kern, dessen Beschaffenheit an diejenige des ungerösteten Erzes erinnert, so war die Zeitdauer der Röstung zu kurz. Dass es jedoch um so schwieriger ist, die Wirkungen des Röstprocesses gleichmässig bis auf das Innere der Erzstücke auszudehnen, je grösser der Durchmesser der letzteren ist, und dass aus diesem Grunde eine der Röstung voraufgehende Zerkleinerung sehr am Platze ist, wurde schon öfter hervorgehoben.

Das Zerschlagen der Erzstücke muss ohne Schwierigkeit von statten gehen; einzelne Erze, insbesondere die Carbonate, lassen sich nach gut gelungener Röstung häufig schon mit der Hand in kleinere Stücke zerbrechen.

b. Die Ausführung des Röstens.

Aus der Erklärung des Begriffs „Rösten“ ergiebt sich von selbst, dass die Ausführung des Verfahrens durch Erhitzung des Erzes unter Anwendung irgend eines Brennstoffes geschieht. Derselbe kann fest oder gasförmig sein. Bei Kohleneisensteinen, welche selbst reich an brennbarer Substanz sind, pflegt ein fremder Brennstoff nicht erforderlich zu sein, ja nicht selten reicht die bei der Röstung derselben entwickelte Wärme aus, auch noch andere Erze, welche zu diesem Zwecke mit jenen gemischt werden, ohne besonderen Brennstoff zu rösten.

Das Rösten in Haufen.

Wie bei der Verkohlung und Verkokung roher Brennstoffe die Anwendung von Haufen (Meilern) das älteste und einfachste Verfahren bildet, aus welchem sich erst später zur besseren Ausnutzung der erzeugten Wärme und zur sichereren Regelung des Processes die Anwendung besonderer Apparate entwickelte, so tritt uns auch als das einfachste und älteste Verfahren der Eisenerzröstung die Anwendung von Haufen entgegen, in welchen das Erz mit dem Brennstoffe geschichtet ist und durch die allmähliche, durch die stete Berührung mit der äusseren Luft bewirkte Verbrennung des letzteren geröstet wird.

Als Brennstoff für die Haufenröstung pflegt man, sofern nicht selbströstende Kohleneisensteine geröstet werden, Holzkohlen- oder Steinkohlenklein zu benutzen.

Den Haufen giebt man die Form ganz flacher abgestumpfter Pyramiden mit rechteckiger Grundfläche. Die Breite derselben muss, damit die äussere Luft bis in das Innere vordringen kann, von der Grösse und Form der einzelnen Erzstücke abhängig sein und pflegt bei Erzen, welche mit fremdem Brennstoffe geröstet werden, 4—6 m zu betragen, während man bei der Röstung von Kohleneisensteinen Haufen bis zu 10 m Breite anwendet. Die Länge der Haufen richtet sich nach der Menge des zu röstenden Erzes sowie der Grösse des verfügbaren Platzes und erreicht bei Kohleneisensteinen mitunter ein Maass von 60 m. Die Höhe muss sich, damit die Gase Durchgang haben, wie die Breite nach der Beschaffenheit der Erzstücke richten und schwankt zwischen 1—5 m, geht aber nur in selteneren Fällen über 2.5 m hinaus.

Man benutzt einen ebenen trockenen Platz neben der Lagerstätte der Erze, den man erforderlichen Falls durch Aufstampfen von Lehm, Pflasterung oder dergl. entsprechend vorbereitet. Bei der Röstung von Erzen ohne eigene Kohle schüttet man auf diesem Platze zunächst eine Schicht leicht entzündlichen Brennmateriales, am besten Holzscheite mit dazwischen geschütteten Spänen, Torf, Tannzapfen oder dergl., sonst auch wohl nur Holzkohlenlösche, in der Länge und Breite auf, welche die Grundfläche des Haufens erhalten soll. Diese unterste Schicht heisst das Röstbett. Nun kommt eine Schicht Erzstücke, ca. 40—50 cm hoch, dann wieder eine Schicht Brennstoff (Holzkohlenklein, Steinkohlenklein), hierauf wieder Erz u. s. f. Die einzelnen Schichten werden mit Karren aufgefahren und mit Krücken sorgfältig geebnet; da die oberen Schichten von sämmtlichen aufsteigenden Gasen durchdrungen und hierbei erhitzt werden, so macht man die Kohlenschichten um so schwächer,

die Erzschichten um so stärker, je weiter nach oben sie sich befinden, damit eine möglichst gleichmässige Erhitzung des ganzen Haufens erzielt werde.

Bei dem Auffahren der Schichten übereinander entsteht schon von selbst, wenn man nicht etwa durch künstliches Aufbauen besonders dazu geeigneter Erzstücke senkrechte Umfassungswände herstellt, die Form einer flachen abgestumpften Pyramide gemäss dem Böschungswinkel des Materials.

Der ganze Haufen wird schliesslich noch mit einer Decke aus Kohlenklein versehen und nun rings herum am Fusse entzündet.

Bei der Röstung von Kohleneisensteinen fällt, wie schon erwähnt, die Einschichtung von Brennstoff fort. Sind dieselben schwer entzündlich, so legt man beim Setzen des Haufens mit Hilfe grösserer Erzstücke Zündkanäle an der Sohle an, welche bis zur Mitte führen und mit leicht brennbarem Materiale gefüllt werden.

Sehr lange Haufen steckt man auch wohl nur an einer Seite in Brand, so dass das Feuer sich von hier aus nach dem anderen Ende hin fortpflanzt; die abgerösteten Erze werden entfernt, und man kann schon das Auffahren eines neuen Haufens beginnen, ehe der alte völlig durchgeröstet ist.

Die Brennzeit beträgt je nach der Grösse der Haufen zwei Wochen bis mehrere Monate. Sehr verschieden ist auch der Brennstoffverbrauch bei den Erzen, welche nicht selbst ihren Brennstoff mitführen. Die Art des Brennstoffes, die erforderliche Rösttemperatur, die Grösse der Haufen sind hierbei maassgebend. Bei Anwendung von Steinkohlenklein wird man als durchschnittlichen Verbrauch zum Rösten von 1000 kg Erz 100 kg Kohlen rechnen dürfen; die Löhne dürften sich in den meisten Fällen auf 40—50 Pf. für dasselbe Erzquantum beziffern.[1])

Da der Rösthaufen an allen Seiten wie an der Oberfläche vollständig frei liegt und einem steten Luftwechsel ausgesetzt ist, so ist die Ausnutzung des Brennstoffes beim Rösten in Haufen eine sehr ungünstige. Zu diesem Uebelstande kommt der andere, dass der Verlauf des Verbrennungsprocesses durch Witterungseinflüsse, insbesondere durch Stärke und Richtung des herrschenden Windes nicht unwesentlich beeinflusst wird, und dass es, ganz abgesehen von diesen zufälligen Einwirkungen, doch in Rücksicht auf die schon oben angedeutete Eigenthümlichkeit der Erhitzung, welcher die oberen Schichten stärker als die unteren ausgesetzt sind, auch bei sorgfältigster Aufstellung des Haufens kaum möglich ist, eine ganz gleichmässige Röstung der Erze zu erreichen. Stets werden sich einzelne zu schwach und andere zu stark geröstete Erze in einem und demselben Haufen befinden.

Von Jahr zu Jahr hat deshalb die Haufenröstung abgenommen, seitdem man mehr als in alter Zeit durch äussere Verhältnisse gezwungen war, bei jedem Processe der Eisenerzeugung auf Brennstoffersparung und möglichste Vervollkommnung des Arbeitsverfahrens Rück-

1) Nach Wedding (Eisenhüttenkunde, Abth. II, S. 429) verbraucht man in Ebbw Vale (Südwales) beim Rösten von Thoneisensteinen per 1000 kg Erz 75 kg Kohlenklein nebst 25 kg Stückkohlen und zahlte (in den sechziger Jahren) 42 Pf. Lohn für das Setzen und spätere Ziehen.

sicht zu nehmen. Am häufigsten kommt die Haufenröstung noch bei Kohleneisensteinen in Anwendung, weil hier jene Rücksicht auf Brennstoffersparung weniger in Betracht kommt, im Uebrigen aber das Verfahren ausserordentlich einfach und mit geringen Kosten durchzuführen ist; und während die übrigen Erze in der Jetztzeit nur noch äusserst selten in Haufen geröstet werden, dürfte für Kohleneisensteine die Haufenröstung noch häufiger als ein anderes Röstverfahren in Anwendung sein.

Das Rösten in Stadeln.

Stadel oder Röststadel nennt man eine oben offene, gemauerte seitliche Einfassung eines Rösthaufens. Durch Oeffnungen in den Wänden, welche durch eingesetzte Steine nach Belieben geschlossen werden können, lässt sich der Luftzutritt von der Seite her reguliren; von unten her wird ebenfalls gewöhnlich Luft durch einen von aussen kommenden Kanal zugeführt, welcher unter einem oder mehreren Rosten in der Sohle des Stadels mündet. An einer Seite ist in der Umfassungswand ein ausreichend breiter Schlitz ausgespart, welcher zum Füllen und späteren Entleeren des Stadels dient und während des Röstens vermauert oder durch eingesetzte Eisenplatten verschlossen wird.

Ein Stadel verhält sich demnach zu einem Rösthaufen ähnlich wie ein Schaumburger Verkokungsofen (S. 62) zu einem Steinkohlenmeiler. Die Wärmeverluste werden zwar bei Anwendung der Stadelröstung im Vergleiche zur Haufenröstung abgemindert, so dass man mit etwas geringerem Brennstoffverbrauche arbeitet; und durch Oeffnen und Schliessen der Zugöffnungen ist eine Regelung der Verbrennung bei wechselnder Windrichtung zu ermöglichen. Wie in einem Rösthaufen aber sind im Stadel die oberen Schichten, durch welche sämmtliche von unten aufsteigende Gase hindurchziehen, der Erhitzung in stärkerem Maasse ausgesetzt als die unteren, und an der Oberfläche des Stadels entweicht immerhin ein beträchtlicher Theil Wärme ungenutzt. Die Uebelstände der Haufenröstung sind daher bei der Stadelröstung wohl abgemindert, aber nicht beseitigt; und den durch Anwendung eines Stadels erlangten Vortheilen stehen die, wenn auch nicht beträchtlichen, Anlage- und Unterhaltungskosten und der Umstand gegenüber, dass man hinsichtlich der Menge der in einem Male zu röstenden Erze an den Fassungsraum des Stadels gebunden ist. Diese Umstände machen es erklärlich, dass die Stadelröstung in der Jetztzeit noch seltener als die Haufenröstung angetroffen wird. In Schweden, wo sie in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts sehr allgemein war, ist sie ziemlich vollständig verschwunden; auch auf deutschen Eisenwerken, wo sie vereinzelt noch in den sechziger Jahren in Anwendung war (Ilsenburg am Harz), dürfte sie inzwischen gänzlich erloschen sein.

Das Rösten in Oefen.

Man benutzt zum Rösten der Eisenerze fast ausschliesslich Schachtöfen. Von dem Röststadel unterscheidet sich der Röstofen theils durch seine grössere Höhe und geringere Weite, vornehmlich aber dadurch, dass in dem Ofen, welcher in dem unteren Theile mit Ausziehöffnungen für die abgerösteten Erze versehen ist, eine allmähliche Bewegung der

in die Gicht des Ofens eingeschütteten Erze nach unten stattfindet und auf diese Weise ein ununterbrochener Betrieb des Ofens möglich ist; die Verbrennungsgase aber, welche in dem unteren Theile des Ofens, wo die Luft Zutritt hat, gebildet werden, steigen empor und begegnen den niederrückenden Erzen. Diese entgegengesetzte, allen direct wirkenden Schachtöfen eigenthümliche Bewegungsrichtung der wärmeaufnehmenden und wärmeabgebenden Körper befördert aber früheren Darlegungen zufolge (S. 26) in hohem Maasse die Wärmeausnutzung; und da sämmtliche in die Gicht eingeschütteten Erze auch denselben Weg zurücklegen, also der Erhitzung in dem gleichen Maasse ausgesetzt sind, so ist die Röstung durchschnittlich auch gleichmässiger als in Haufen und Stadeln.

Diese Vortheile der Ofenröstung — ununterbrochener Betrieb, geringer Brennstoffverbrauch und grössere Gleichmässigkeit in der Beschaffenheit der gerösteten Erze — lassen dieselbe als die bei weitem vollkommenste aller Röstmethoden erscheinen, so dass in der Jetztzeit die Ofenröstung die Regel bildet, während Haufen- und Stadelröstung zu den Ausnahmen zählen.

Verwendet man festes Brennmaterial — Kohlenklein — zum Rösten, so wird dasselbe in abwechselnden Schichten mit dem Erze in die Gicht eingeschüttet und sinkt wie dieses abwärts, um allmählich durch den aufsteigenden Luftstrom verbrannt zu werden; verwendet man Gase (Gichtgase des Hochofens, Generatorgase), so werden dieselben durch entsprechend angeordnete Oeffnungen im unteren Theile des Ofens eingeleitet. Die Verbrennungsluft lässt man gewöhnlich durch die zum Ziehen der Erze bestimmten Oeffnungen zutreten; sie muss hierbei zwischen den noch warmen Erzstücken hindurch ihren Weg nehmen, kühlt diese ab und führt die aufgenommene Wärme in den Ofen zurück. Nicht selten jedoch ordnet man ausser diesen Oeffnungen noch besondere Luftzuführungsöffnungen an, insbesondere dann, wenn eine stark oxydirende Röstung beabsichtigt ist. Der Luftzug wird fast immer durch den Ofen selbst, welcher hierbei als Esse wirkt, hervorgerufen; nur in wenigen Ausnahmefällen — bei dicht liegenden Erzen in hohen Oefen — hat man den kostspieligeren Gebläsewind zur Anwendung gebracht.

Gasfeuerung hat vor der Feuerung mit festen Brennstoffen ausser den früher schon erwähnten allgemeineren Annehmlichkeiten in diesem Falle noch den Vorzug voraus, dass die Erze nicht durch Asche der Brennstoffe verunreinigt werden; und bei der Aufgabe, eine annähernd vollständige Entschweflung kiesiger Erze herbeizuführen, giebt sie leichter die Möglichkeit, die hierfür erforderliche hohe Temperatur bei stark oxydirender Gasatmosphäre herbeizuführen. Wenn trotzdem die Gasfeuerung der Röstöfen nicht ganz so häufig als die Feuerung mit festem Brennmaterial angetroffen wird, so ist der Grund dafür zum grossen Theile in dem Umstande zu suchen, dass jenes Kohlenklein, welches in dem letzteren Falle als Brennstoff zu dienen pflegt, auf den meisten Eisenwerken fast kostenlos zu haben ist, seine Umwandlung in brennbares Gas dagegen nicht ohne Ausgabe für Anlage und Wartung der betreffenden Gaserzeuger zu bewerkstelligen sein würde, deren Betrag nicht immer im Einklange zu dem erreichten

Erfolge stehen dürfte; ferner, dass die Wartung des Röstofens selbst grössere Aufmerksamkeit bei Gasfeuerung als bei jener Feuerung mit Kohlenklein erheischt. Es ist ausserdem in Betracht zu ziehen, dass Gase, obwohl sie leichter als feste Brennstoffe hohe Verbrennungstemperaturen liefern, doch auch wieder einer höheren Temperatur im Verbrennungsraume bedürfen, um entzündet und vollständig verbrannt zu werden, und dass nur in ganz bestimmten Fällen, wie oben erläutert wurde, eine so hohe Rösttemperatur zulässig oder zweckmässig ist. Jenes oben erwähnte Missverhältniss in den Kosten des verschiedenen Brennstoffes erklärt es aber auch zur Genüge, dass Gasröstöfen vorzugsweise da zur Anwendung gelangen, wo Hochofengichtgase, also ein an und für sich kostenlos erfolgendes Nebenerzeugniss des Hochofens, für die Heizung derselben zur Anwendung stehen. Wo aber, wie bei der grösseren Zahl aller Eisenwerke, diese Gichtgase zur Heizung von Dampfkesseln und Winderhitzungsapparaten vollständig ausgenutzt werden können, man also bei ihrer Benutzung zum Rösten für die letzteren Zwecke noch einen Extraaufwand an werthvollerem Brennstoff, als für die Heizung der Röstöfen ausreicht, zu tragen haben würde, da wird fast immer vom haushälterischen Standpunkte aus das Rösten mit Kohlenklein dem Rösten mit Gas vorzuziehen sein.

Ein Mittelding zwischen den eigentlichen Gasröstöfen und den Oefen mit eingeschichtetem Kohlenklein bilden solche Oefen, bei denen auf Rosten, welche ausserhalb des Ofenschachtes angebracht sind, mit dem Ofeninneren aber in Verbindung stehen, die Brennstoffe (Holz, Steinkohlen) verbrannt werden, so dass die Verbrennungsgase durch den Ofen und die in demselben aufgeschichteten Erze hindurch ihren Weg nehmen müssen. Derartige Oefen haben mit den Gasröstöfen den Vortheil gemein, dass jede Verunreinigung der Erze durch Asche ausgeschlossen und stärkere Oxydationswirkung als bei der Berührung der Erze mit glühenden Kohlen möglich ist; sie erfordern aber immerhin die Anwendung kostspieligerer Brennstoffe als die gewöhnlichen Röstöfen für Kohlenklein. Man benutzt sie in einzelnen Fällen, wo die Erlangung jener Vortheile der Gasfeuerungen besonders wünschenswerth ist, Gase aber nicht zur Verwendung stehen und die Anlage besonderer Gaserzeuger nicht als zweckdienlich erscheint (so z. B. zum Brennen des Kalksteines für den basischen Bessemerprocess; in Schweden auch seit 1826 neben den Gasröstöfen zum Rösten kiesiger Magneteisenerze).

Die Form und Grösse der verschiedenen auf den Eisenwerken zur Verwendung gebrachten Röstöfen ist ausserordentlich mannigfaltig. Da von sämmtlichen vorkommenden Eisenerzen nur der kleinere Theil der Röstung unterworfen wird, so erklärt es sich leicht, dass wir den Bau und den Betrieb der Röstöfen vorwiegend in bestimmten Ländern und Bezirken ausgebildet finden, wo eben jene der Röstung bedürftigen Eisenerze (Carbonate und Magnetite) in grösseren Mengen auftreten, während in anderen Gegenden, wo man ausschliesslich Roth- und Brauneisenerze verhüttet, auch auf bedeutenden Eisenwerken oft nicht ein einziger Röstofen angetroffen wird. Anderntheils, da die Ansprüche, welche an die Röstung gestellt werden, wiederum nach der Beschaffenheit der Erze selbst wie nach der Art der späteren Verhüttung verschieden sein können (wie schon oben erläutert wurde), so lassen sich

auch wiederum gewisse charakteristische Eigenthümlichkeiten in der Einrichtung der Oefen eines ganzen Bezirkes erkennen, welche eben durch jene verschiedenen Ansprüche begründet sind.

So z. B. bilden in Cleveland und Südwales thonige Sphärosiderite den Hauptreichthum an Eisenerz. Sie bedürfen, um leichtreducirbar zu werden, einer oxydirenden Röstung; da sie mit Koks oder Steinkohlen verhüttet werden, ihr durchschnittlicher Schwefelgehalt überhaupt nicht sehr hoch ist, die Aufgabe der vollständigen Entschweflung also geringere Wichtigkeit besitzt, braucht die Temperatur nicht jenes höchste Maass zu erreichen, wie es für den letztgenannten Zweck des Röstens erforderlich sein würde; aber der massenhafte Verbrauch an jenen Erzen stellt erhöhte Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Oefen. Daher zeichnen sich die Oefen jener Bezirke meistens durch bedeutende Grösse aus, welche eine entsprechend grosse Leistung mit sich bringt; als Brennstoffe dienen grösstentheils die billig zu erlangenden Steinkohlen, da Gasröstung hier wenig Vortheil bringen würde.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse, wo kiesige Magneteisenerze mit Holzkohlen verhüttet werden sollen, also nicht allein Höheroxydation dieser schwerreducirbaren Erze sondern auch möglichst vollständige Entschweflung unerlässlich ist. In dieser Beziehung bieten die Verhältnisse Schwedens ein besonders anschauliches Bild. Für die Lösung jener Aufgabe ist nicht allein starke Oxydationswirkung, sondern auch sehr hohe Temperatur bis zur Sinterung der Erze erforderlich; hier also ist Gasheizung der Röstöfen vorwiegend am Platze. Schweden, dessen Eisenhüttenleute von jeher ihre besondere Aufmerksamkeit der Ausbildung des Röstverfahrens zugewendet haben, ist die Heimath der Gasröstöfen wie der diesen nahestehenden Röstöfen mit Rostfeuerung ausserhalb des Schachtes. Von hier aus wurden diese Constructionen nach anderen Gegenden verpflanzt, wo ähnliche Verhältnisse obwalteten (Nordamerika, Ungarn, Ural); aber eine Röstung der Erze in dem Umfange wie in Schweden findet in kaum einem anderen Lande statt.

In den österreichischen Alpenländern sind es vorwiegend Spathe, die, um mit Holzkohlen verhüttet zu werden, zum Rösten gelangen. Ein Theil dieser Erze ist ziemlich schwefelfrei und es bedarf nur einer Zersetzung und Höheroxydation des Carbonates; andere, wie die zu Mariazell und Neuberg verhütteten Erze, sind stark mit Kiesen durchwachsen und bedürfen der Entschweflung; jene hohe Temperatur aber, wie sie für die dichten Magneteisenerze Schwedens behufs der vollständigen Entschweflung erforderlich ist, würde die Spatheisensteine vollständig verschlacken und ist um so eher entbehrlich, als diese Erze bei ihrer Zersetzung ohnehin eine mürbe, poröse Beschaffenheit annehmen, welche auch das Innere derselben der Einwirkung der Gase leichter zugänglich macht. Einzelne Erze zerfallen sogar vollständig beim Rösten, behindern dadurch den Luftzug im Ofen und erfordern deshalb Oefen von geringer Höhe. Die Röstofenconstructionen der alpinen Eisenwerke sind daher ziemlich mannigfaltig. Reichliche und auf eine grössere Fläche vertheilte Luftzuführung, durch welche theils eine kräftige Oxydationswirkung hervorgerufen, theils eine übermässige locale Temperatursteigerung im Ofen verhindert wird, ist fast allen der-

selben gemeinsam.[1]) Für dicht liegende Erze sind ganz niedrige Oefen mit Gasheizung in Verwendung.

In Deutschland bilden die zu röstenden Erze durchschnittlich einen geringeren Theil der gesammten Beschickung, als in den genannten Ländern; man schmilzt in den allermeisten Fällen mit Koks, so dass eine vollständige Entschweflung kaum erforderlich ist, und die Röstung besitzt im Allgemeinen nicht jene hohe Wichtigkeit als dort. Einzelne Werke allerdings, deren Erzreichthum vorzugsweise aus Spathen und Sphärosideriten besteht, sind auch mit umfänglichen Anlagen für die Röstung derselben versehen. Die deutschen Röstöfen pflegen, diesen Verhältnissen entsprechend, mittlere Grösse zu besitzen und sich durch Einfachheit der Construction auszuzeichnen. Nicht selten röstet man mehrere Erzgattungen (Spathe, Magnetite) nach einander in demselben Ofen.

In früherer Zeit gab man, geleitet durch die damaligen Ansichten über Wärmeverluste durch dünne Wände, den Röstöfen einen Kernschacht und umhüllte denselben mit einem Rauhgemäuer von oft ansehnlicher Stärke. Solche ältere Röstöfen, schwerfällig in ihrer Construction, sind noch heute auf verschiedenen Werken in Anwendung, da gewöhnlich kein Grund vorliegt, sie, wo sie einmal vorhanden sind, abzubrechen, um sie durch moderner eingerichtete zu ersetzen.

Wo man indessen neue Oefen anlegt, pflegt man den früher erörterten Grundsätzen für den Ofenbau gemäss zu verfahren: man umschliesst den Ofenschacht mit einer Rüstung, die bei kreisförmigem Querschnitte desselben aus einem aus Blechtafeln zusammengenieteten Mantel zu bestehen pflegt, mitunter auch wohl nur aus umgelegten Eisenringen gebildet ist, und lässt das Rauhgemäuer fehlen. Der ganze Ofen wird dadurch leichter, billiger und beansprucht erheblich weniger Platz, ohne deshalb an Haltbarkeit einzubüssen. Die unten gegebenen Beispiele moderner Eisenerzröstöfen werden geeignet sein, diese Construction näher zu erläutern.

Die Leistungsfähigkeit eines Röstofens, d. h. die Menge des in bestimmten Zeitabschnitten von demselben gerösteten Erzes, ist selbstverständlich zum grossen Theile von seinem Rauminhalte abhängig; aber auch die Beschaffenheit der zu röstenden Erze, die Art der Feuerung und selbst der Bedarf an geröstetem Erz sprechen hierbei mit. Erfahrungsmässig lässt sich der Betrieb der meisten Röstöfen, insbesondere der mit festen Brennstoffen geheizten, innerhalb ziemlich weiter Grenzen beschleunigen oder verlangsamen, je nachdem es der Betrieb verlangt, ohne dass andere Nachtheile daraus erwachsen, als vielleicht ein bei allzu raschem Betriebe etwas erhöhter Brennstoffaufwand. So erklärt es sich, dass, während bei zahlreichen Oefen die täg-

---

[1]) Besondere Verdienste um die Röstung der steirischen Spatheisensteine u. s. w. erwarb sich Bergrath Wagner in Mariazell, von welchem mehrere verschiedene, noch jetzt in Mariazell, Neuberg und a. a. O. bestehende Röstofenconstructionen herrühren.

lich verarbeitete Erzmenge per cbm Rauminhalt des Ofens nicht über 400—450 kg hinausgeht, andere Oefen die vierfache Leistungsfähigkeit besitzen, sofern man einen etwas höheren Aufwand an Brennstoff nicht zu scheuen braucht.

Eine besondere Vorrichtung ist erforderlich, um die Gicht des Ofens zugänglich zu machen. Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Wagen, welche Erze und Brennstoffe zuführen, bis an die Gichtöffnung geschoben werden müssen, um hier entleert zu werden.

Ist der Grund, auf dem das Eisenwerk liegt, abschüssig, so stellt man die Röstöfen gern an einer tieferen Stelle auf und führt eine horizontale oder schwach ansteigende Brücke von dem höher liegenden Erzlagerplatze nach der Ofengicht hinüber.

Ist eine derartige Anordnung nicht möglich, die Höhe der Oefen aber nicht sehr beträchtlich, so sucht man sich wohl zu helfen, indem man eine geneigte Ebene, aus Bohlen gezimmert oder aus Eisen construirt, von der Sohle nach der Gicht hinaufführt.

Für grössere Anlagen dagegen pflegt man mechanische Gichtaufzüge zu benutzen. Mehrere Röstöfen werden in diesem Falle durch Brücken (Bühnen) unter einander verbunden, und ein einziger Aufzug genügt für die Bedienung derselben. Die Einrichtung dieser Aufzüge ist im Wesentlichen die nämliche als man bei Hochöfen zum Hinaufbefördern der Beschickung auf die Gicht in Anwendung bringt (vergl. Abtheilung II: Darstellung des Roheisens).

Ist indessen der Stürzplatz für die rohen Erze weit entfernt von den Röstöfen, oder machen es locale Verhältnisse wünschenswerth, ihn fern von denselben anzulegen, so erlangt man durch Anlage einer Drahtseilbahn die Möglichkeit, die Erze von dort aus unmittelbar nach der Gichtbühne der Röstöfen hinauf zu befördern, ohne hierbei durch Unebenheiten des Bodens, ja selbst durch dazwischen liegende Gebäude und dergl. behindert zu werden.

Der Betrieb der Röstöfen pflegt sehr einfach zu sein. In gewissen Zeitabschnitten, gewöhnlich alle 6—12 Stunden, bei Gasröstöfen noch häufiger (1—3 Stunden), wird eine bestimmte Menge geröstetes Erz herausgeholt — „gezogen“ —, die darüber befindlichen Erze rücken zur Ausfüllung des entstandenen leeren Platzes abwärts und man füllt in die Gicht eine entsprechende Menge frischen Erzes nach. Verwendet man Kohlen als Brennstoff, so werden diese zu unterst und die Erze darauf geschüttet in Lagen, deren Stärke von der Grösse der Oefen wie der Beschaffenheit der Erze abhängig ist.

Die Verbrennung schreitet bei Anwendung festen Brennstoffes von unten nach oben hin fort, „das Feuer steigt auf“, und beim neuen Ziehen pflegt auch die oberste Kohlenschicht bereits ins Glühen gekommen zu sein, wenn der Ofen nicht sehr hoch ist. Bei Gasröstöfen bleibt die Verbrennung dagegen, wie sich von selbst versteht, auf den gleichen Raum beschränkt, so lange die Gas- und Luftzuführung sich nicht ändert.

In Oefen, welche leicht eine höhere Temperatur entwickeln und bei Erzen, welche zum Sintern geneigt sind, kann es geschehen, dass durch das Zusammenbacken der Erze Versetzungen entstehen und förmliche Gewölbe sich bilden, welche das Nachrücken der darüber befindlichen Erze unmöglich machen. In diesem Falle ist es natürlich erforderlich, diese Versetzungen mit Stangen loszustossen, um den Ofen im Betriebe zu erhalten. Oefen, bei welchen eine öftere Entstehung solcher Versetzungen zu befürchten ist, versieht man deshalb mit Oeffnungen im Mauerwerk an denjenigen Stellen, wo die stärkste Temperatur herrscht, also in einiger Höhe über den Lufteinströmungsöffnungen, um durch diese hindurch die zum Losbrechen der gesinterten Erze bestimmten Werkzeuge in den Ofen zu führen. Solche Oeffnungen zu diesem Zwecke heissen Störräume und die Arbeit das Stören. Zweckmässig ist es ausserdem in solchen Fällen, die Oefen nach unten sich allmählich erweitern zu lassen; das Niederrücken der Erze wird dadurch wesentlich erleichtert, das Ansetzen der sinternden Massen an die Wände erschwert.

In der geschilderten Weise kann ein Röstofen ununterbrochen im Betriebe erhalten werden, bis er etwa infolge der allmählichen Abnutzung reparaturbedürftig geworden ist.

Dass die Wartung eines Röstofens, in welchem behufs der vollständigen Entschweflung Sintertemperatur herrschen muss (wie beim Rösten schwedischer Magneteisenerze), ungleich grössere Schwierigkeiten verursacht und grössere Umsicht erheischt, als die Wartung eines gewöhnlichen Röstofens, bedarf keiner weiteren Erläuterung.

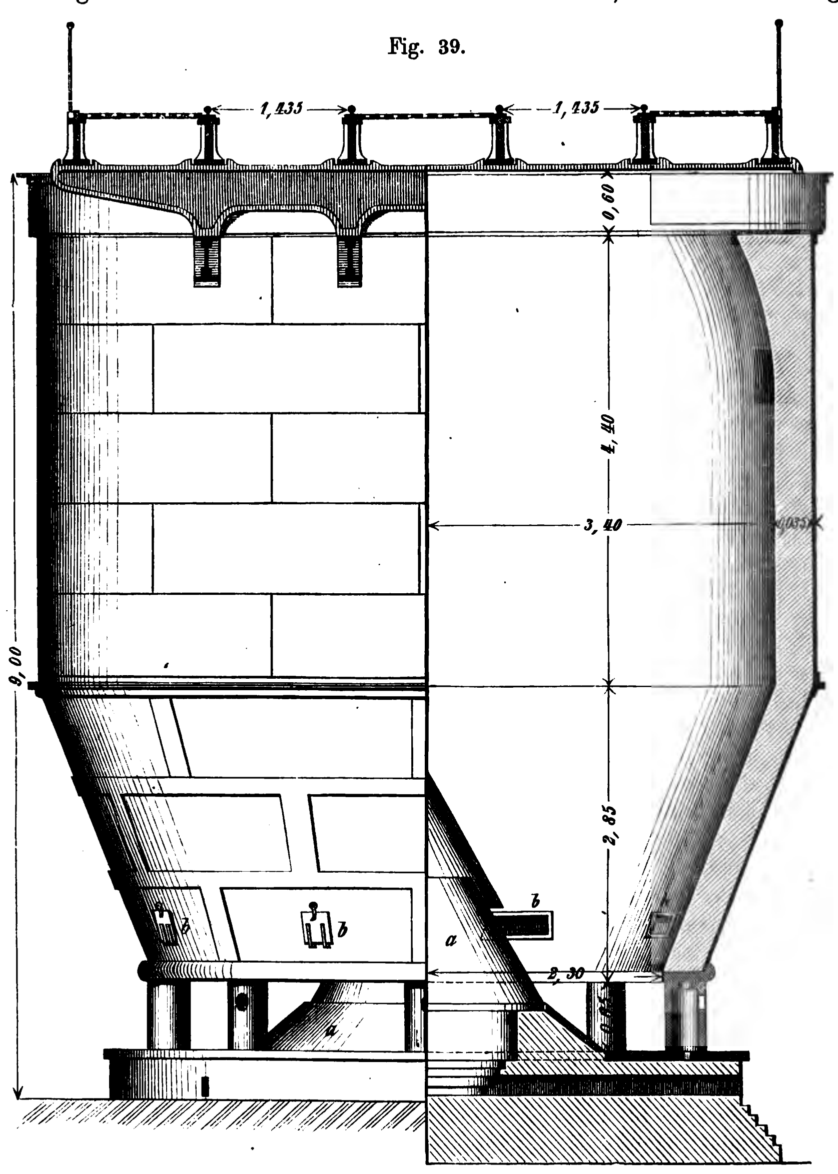
Die Inbetriebsetzung eines kalten Ofens pflegt sehr einfach zu sein. Man bringt zu unterst eine Lage leicht entzündliches Brennmaterial, setzt dieselbe in Brand, schüttet Kohlen nach, dann, wenn diese glühen, Erze u. s. f., bis der Ofen gefüllt ist. Je höher der Ofen ist, und je dichter die Erze liegen, desto allmählicher geht man mit dem Füllen zu Werke, damit das Feuer nicht erstickt werde. Auch bei Oefen mit Gasfeuerung bringt man zunächst in die Nähe der Einströmungsöffnungen Holzstücke und dergleichen, in die Mitte derselben Erzstücke, darüber wieder Erz mit Kohle gemengt, bis der Ofen etwa zu einem Drittel oder der Hälfte gefüllt ist. Alsdann wird das Holz entzündet und der Ofen allmählich weiter gefüllt. Erst wenn im unteren Theile des Ofens durch diese Art der Feuerung Rothgluth herrscht, wird das Gas zugelassen, worauf nun der Betrieb seinen regelmässigen Verlauf nimmt.

Beispiele von Röstöfen.

Einen jener ungeheueren Röstöfen, wie sie in Cleveland zum Rösten der dortigen thonigen Sphärosiderite benutzt werden, zeigt die Abbildung Fig. 39 a. f. S., einen von John Gjers construirten Ofen darstellend. Der mit Blechmantel versehene Ofenschacht wird von einem Gusseisenkranze getragen, welcher auf niedrigen gusseisernen Säulen ruht. Auf diese Weise entsteht ein ringförmiger Raum zwischen der Sohle und dem Schachte, angefüllt mit den abgerösteten Erzen, zwischen denen hindurch die Luft reichlichen Zutritt in das Innere findet. Um

das Abstürzen der Erze nach aussen hin zu befördern, ist in der Mitte des Ofens ein sogenannter Abrutschkegel *a* angebracht. *b b* . . . sind Störöffnungen, um nöthigenfalls bei zu hoch gestiegener Temperatur Versetzungen losbrechen zu können. Der Ofenschacht ist, wie die Abbildung

Fig. 39.



zeigt, oben cylindrisch und verengt sich nach unten auf einen kleineren Durchmesser. Bei Erzen, welche einer hohen Rösttemperatur bedürfen und aus diesem Grunde leicht sintern, würde eine derartige Form,

welche das Niederrücken erschweren und die Entstehung von Versetzungen in starkem Maasse befördern würde, durchaus verwerflich sein; bei Oefen mit niedriger Rösttemperatur und grossem Durchmesser dagegen ist sie zweckmässig. Die von aussen zutretende Luft nämlich wie die entwickelten Verbrennungsgase besitzen naturgemäss das Bestreben, denjenigen Weg zum Aufsteigen im Ofen zu wählen, wo sich ihnen die geringsten Widerstände entgegensetzen. Dieser Weg findet sich an den glatten Wänden des Ofens. Bei einem Ofen mit cylindrischer Gestalt würden daher die in der Nähe der Ofenachse befindlichen Erzstücke um so weniger von dem Röstprocesse, insbesondere von der Oxydation durch die zugeführte Luft beeinflusst werden, je grösser der Ofendurchmesser ist; es würde durch die stattfindende Erhitzung mit der nur unvollständig verbrennenden Kohle eher ein Reductions- als ein Oxydationsprocess hervorgerufen werden. Indem man nun dem Ofen unten einen kleineren Durchmesser giebt, zwingt man die Luft, in einem geringeren Abstande von der Ofenachse in den Schacht einzutreten und solcherart vollständiger als in jenem Falle die Erzsäule zu durchdringen.

Quer über die Gicht des Ofens hinüber sind zwei Schienengleise von normaler Spurweite gelegt, so dass die mit den Erzen beziehentlich mit Brennstoff beladenen Eisenbahnwagen ohne Weiteres bis hierher gerollt und hier entleert werden können. Bühnen neben den Gleisen ermöglichen den Zugang für die Arbeiter, welche das Ausladen bewirken.

Wo mehrere solche Oefen vorhanden sind, werden sie in einer Reihe aufgestellt und durch Brücken mit Schienengleisen unter einander verbunden. Gestattet es das Terrain nicht, die Oefen so tief zu legen, dass ihre Gicht ohne Weiteres zugänglich ist, so werden die Wagen mit Hilfe eines mechanischen Aufzuges emporgehoben.

Bei den zahlreichen nach diesem Systeme ausgeführten Oefen stimmen die Abmessungen nicht immer genau mit den in der Abbildung eingeschriebenen Maassen überein. Die Höhe der Oefen schwankt zwischen 9—15 m, während der innere Durchmesser des weitesten Theiles gewöhnlich nicht erheblich über 7.5 m hinausgeht, bei den kleinsten Oefen aber nicht geringer als in der Abbildung zu sein pflegt. Der Rauminhalt dieser Oefen beträgt demnach 230—450 cbm.

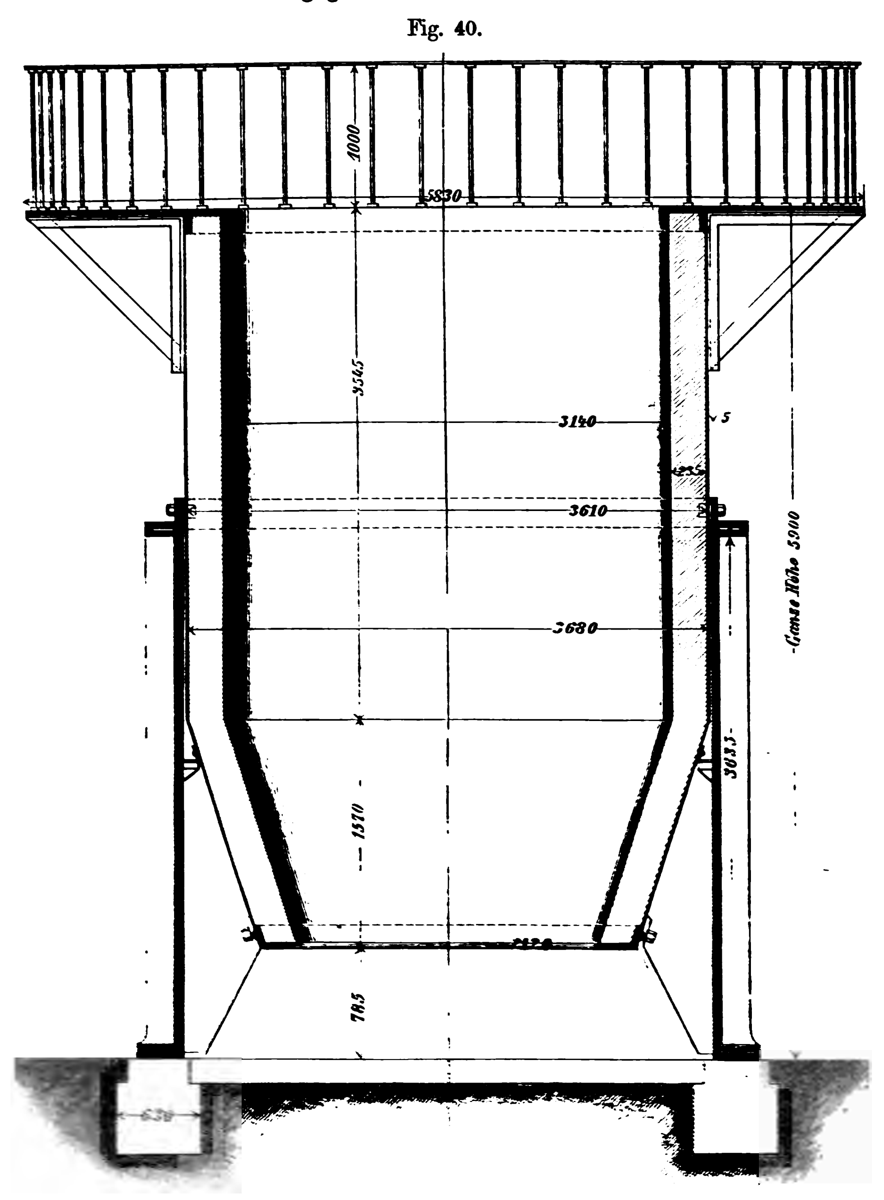
Als Brennstoff dient Steinkohlenklein und man gebraucht per 1000 kg zu röstenden Erzes ca. 40 kg Kohle. Die von einem Ofen der kleineren Art, wie in der Abbildung, täglich verarbeitete Erzmenge beträgt ca. 100 Tonnen (à 1000 kg), bei grösseren Oefen steigert sich dieselbe auf 160 Tonnen und bei den grössten vermuthlich noch etwas mehr.

Auf 1 cbm Rauminhalt bezogen beziffert sich das Gewicht des täglich verarbeiteten Roherzes auf 400—450 kg.

Ganz ähnliche Röstöfen als der abgebildete wurden, ebenfalls in den allergrössten Abmessungen, von J o h n B o r r i e auf den Cleveland-Werken von B o l c k o w, V a u g h a n & C o. erbaut. Von den beschriebenen G j e r s öfen unterscheiden sich die B o r r i e öfen vornehmlich dadurch, dass die Schachtmauerung nebst dem zugehörigen Blechmantel, statt auf Säulen zu ruhen, bis auf das Fundament herunter geht, hier aber durch sechs Ausziehöffnungen unterbrochen ist, welche durch eiserne, abwärts geneigte Lutten das Erz heraus und in bereit gestellte Wagen

hineinstürzen lassen, sobald ein in die letzteren eingeschalteter Schieber geöffnet wird. Die tägliche Leistung eines solchen Borrieofens von 14.25 m Höhe bei 6.25 m innerem Durchmesser wird zu 150—200 Tonnen verarbeitetes Roherz angegeben.

Fig. 40.



Als eine den deutschen Verhältnissen angepasste Abart des Gjers'schen Clevelandröstofens kann der in Fig. 40 abgebildete Schlesische

Röstofen betrachtet werden, welcher in Königshütte in Anwendung ist. Wie jener besitzt er ein cylindrisches Obertheil mit sich verengendem Untertheile. Der Zweck dieser Verengung ist der nämliche wie bei jenen Oefen. Während aber bei den Clevelandöfen der Gusseisenkranz, auf dem der Schacht ruht, unmittelbar auf den kurzen Säulen ruht, wird bei dem schlesischen Ofen jener Kranz lediglich von dem Blechmantel, in welchem er eingeschraubt ist, getragen und letzterer hängt, wie die Abbildung erkennen lässt, mit einem angeschraubten Gusseisenringe auf vier ausserhalb aufgestellten Gusseisenständern. Letztere sind auf diese Weise der Beschädigung durch die herausrollenden heissen Erze offenbar weniger unterworfen, als wenn sie unter dem Schachte selbst ständen. Ausser dem erwähnten Gusseisenringe dient ein weiter unten angenieteter Kranz aus Winkeleisen, welcher sich auf angegossene Consolen an den Ständern legt, für die Befestigung, und schmiedeeiserne Streben führen von der Unterkante des Blechmantels hinüber nach dem Fusse der Ständer, um hier eine dritte Verbindung herzustellen.

Man benutzt diese Oefen in Königshütte mit gutem Erfolge zum Rösten von Magneteisenerzen. Die tägliche Leistung bei den in der Zeichnung angegebenen Abmessungen und beim Rösten von Magneteisenerz beträgt 16—17 Tonnen; also, da der räumliche Inhalt des Ofens sich auf ca. 36 cbm beziffert, per cbm ca. 400 kg. Als Brennstoff gebraucht man per 1000 kg geröstetes Magneteisenerz 47—52 kg, durchschnittlich also etwa 50 kg Steinkohlenklein.

Die Magneteisenerze werden vor dem Rösten auf eine Grösse von 20—25 cm Durchmesser gepocht. Als Lohn für das Pochen und Rösten zusammen zahlt man 45—48 Pf. per 1000 kg, je nachdem das Erz — man verarbeitet schlesische kalkhaltige und sächsische kalkfreie Magneteisenerze — eine leichtere oder schwierigere Zerkleinerung und Röstung ermöglicht.

Als der einfachste aller Röstöfen dürfte der in Fig. 41 abgebildete Siegensche Röstofen erscheinen. Man benutzt denselben vorzugsweise zum Rösten von Spatheisensteinen und Sphärosideriten, sowohl auf Siegerländer als anderen deutschen Eisenwerken. Die Abmessungen sind gewöhnlich annähernd dieselben als in der Abbildung[1]; in England jedoch (auf den Normanby Ironworks bei Middlesborough) hat man die nämliche Form, nur mit etwas schlankerem Profile (Neigungswinkel der Seitenflächen etwa 80 Grad), auch für weit grössere Oefen benutzt, deren Fassungsraum demjenigen der oben beschriebenen Clevelandöfen nahe steht und welche in Rücksicht auf den grossen Durchmesser mit eben solchem Abrutschkegel am Boden wie letztere versehen sind.

Die Einrichtung wird ohne besondere Erläuterung verständlich sein. Von dem oben besprochenen schlesischen Röstofen unterscheiden sich

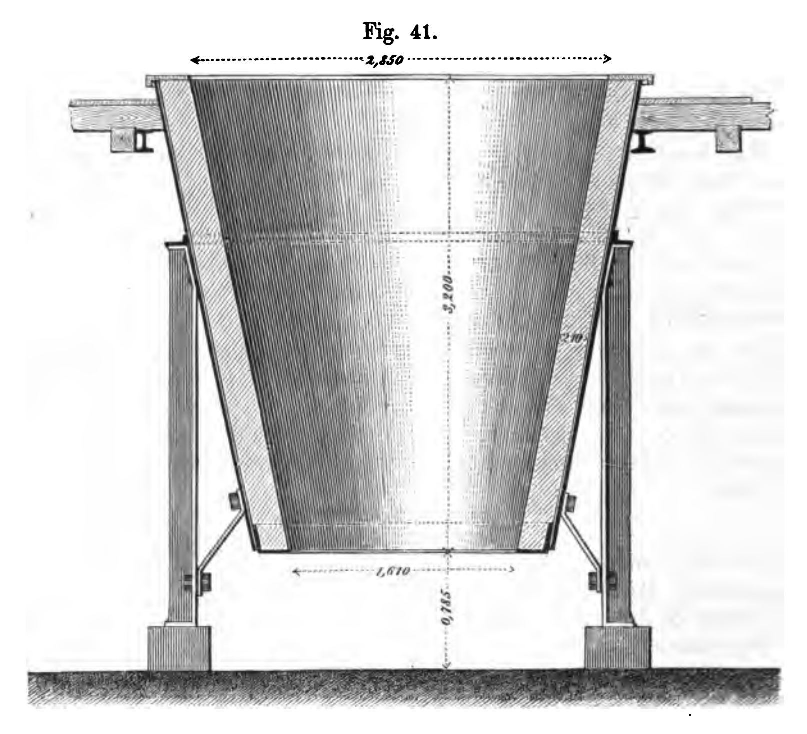
---

1) Die eingeschriebenen Maasse des abgebildeten Röstofens sind die bei einer neueren Röstofenanlage zu Gaisweid benutzten. Eine vollständige Abbildung der ganzen Anlage findet der Leser in Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Taf. II.

diese Siegerländer vornehmlich dadurch, dass hier der ganze Schacht und nicht blos der untere Theil desselben trichterförmig gestaltet ist. Die Construction wird dadurch noch einfacher.

Die Leistungsfähigkeit dieser Oefen beim Rösten von Spathen und Sphärosideriten (wozu sie in der abgebildeten Grösse allein benutzbar sein dürften) ist eine ausserordentlich grosse. Nach Dürre röstet man zu Geisweid in einem derartigen Ofen von ca. 15 cbm Rauminhalt täglich 20 000 kg Spatheisensteine. Auf den der Königin-Marienhütte bei Zwickau zugehörigen Gruben zu Könitz in Thüringen werden in ebensolchen Oefen mit 3.2 m oberem Durchmesser, 1.5 m unterem Durchmesser, 3.2 m Höhe des Schachtes und 0.7 m Abstand der Schachtöffnung vom Boden — also ca. 17 cbm Inhalt — täglich 31 600 kg Spatheisen-

Fig. 41.



steine mit einem Kohlenverbrauche von 55.3 kg per 1000 kg Erz geröstet, und es ergiebt sich ein Röstverlust von 29 Proc. In Königin-Marienhütte selbst röstet man in einem ebensolchen Ofen als in Könitz täglich 58 680 kg Zwickauer Kohleneisensteine ohne Aufwand fremden Brennstoffes mit einem Röstverluste von 30 Proc. Durchschnittlich ergiebt sich in den erwähnten Fällen eine Tagesleistung per cbm Rauminhalt von 1500 kg rohem Spatheisenstein oder 3400 kg rohem Kohleneisenstein. Die Rösterlöhne betragen in Königin-Marienhütte wie in Könitz 25 Pf. per 1000 kg Roherz.

In ebensolchen Röstöfen zu Gleiwitz endlich mit 3.14 m oberem, 1.57 m unterem Schachtdurchmesser, 2.82 m Schachthöhe, 0.8 m Abstand

vom Boden, also ca. 15 cbm Inhalt, welche ebenfalls zum Rösten von Spatheisensteinen bestimmt sind, erhält man täglich, je nach Bedarf des Hochofens, 6300—10 000 kg geröstetes Erz per Ofen bei 27 Proc. Röstverlust und einem Brennstoffaufwande von 48 kg Steinkohle per 1000 kg Röstgut. Die Löhne betragen nur 17 Pf. per 1000 kg Röstgut.



Fig. 42.

Ein Röstofen, von Bergrath Wagner zum Rösten von Spatheisensteinen des Erzberges erbaut, ist in Fig. 42 abgebildet. Derartige Oefen sind u. a. zu Eisenerz und Hüttenberg in den österreichischen Alpen, auch in Rhonitz in Ungarn in Anwendung. Wie die Abbildung erkennen lässt, sind sie noch mit ziemlich starkem Rauhgemäuer *f* versehen und können in dieser Hinsicht den Bau eines älteren Röstofens

veranschaulichen; unten ist der Schacht zusammengezogen und an zwei gegenüberliegenden Seiten oberhalb der vorhandenen beiden Auszieh-öffnungen durch Treppenroste, aus starken eingemauerten Eisenbalken gebildet, begrenzt, welche der Luft freien Zutritt bis in das Innere des Ofens gewähren. Ein Abrutschdach führt die Erze nach den beiden unter den Treppenrosten angebrachten Ziehöffnungen hin, von wo sie durch eine Lutte in die tiefer stehenden Wagen hinabstürzen. Dieser etwas schwerfällige Unterbau ist durch locale Verhältnisse (Anordnung der Oefen am Abhange des Berges) bedingt.

Die Abmessungen der in verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten erbauten Oefen dieses Systems sind nicht immer dieselben. Bei den neueren Oefen zu Eisenerz ist der Schacht vierseitig prismatisch geformt; die Breite misst 2.85 m, die Länge 4.50 m und bei anderen 6.50 m; die Höhe 4—5 m. Die grösseren Oefen haben einen Rauminhalt von 85 cbm und liefern täglich 15—20 Tonnen geröstetes Erz; röstet man nur gröbere Stücke, so steigt die Leistung auf 30—40 Tonnen.[1]) Rechnet man, dass die Spatheisensteine beim Rösten durchschnittlich 25 Proc. ihres Gewichtes verlieren, so würde jene Gesammtleistung einer täglichen Leistung von ca. 300 kg klarem beziehentlich 450—550 kg grobem Roherz per cbm, durchschnittlich etwa 450 kg per cbm entsprechen.

Der Brennstoffverbrauch beträgt ca. 50 kg Holzkohlenklein per 1000 kg Roherz.

Für schwefelkiesreichere Spathe, wie sie u. a. in Mariazell verhüttet werden, ist durch Wagner noch eine geänderte Form dieses Ofens eingeführt worden. Der Ofen ist durch eine in seiner ganzen Länge sich erstreckende Scheidewand in zwei Hälften, richtiger in zwei mit dem Rücken aneinander stossende Oefen getheilt worden, deren Breite verhältnissmässig gering ist (0.95 m), während sie eine Längenausdehnung von fast 20 m erhalten haben. Sowohl die äusseren Umfassungswände als die in der Mitte befindliche Scheidewand sind von Kanälen durchzogen, welche durch zahlreiche auf den Wandflächen vertheilte Oeffnungen Luft in den Ofen führen, so dass bei der geringen Breite des letzteren die ganze Erzsäule daran durchdrungen wird. Obschon der Brennstoffverbrauch infolge der reichlicheren Luftzuführung ungünstiger ausfällt (ca. 70 kg per 1000 kg Erz), ist die Oxydationswirkung eine stärkere.[2])

Es möge hier zugleich der zum Rösten klarer, dicht liegender Erze bestimmten, schon oben kurz erwähnten kärntnischen Gasröstöfen gedacht werden, welche man nach ihrem Erfinder Fillafer'sche Röstöfen zu benennen pflegt. Sie wurden zuerst auf dem Eisenwerke

---

1) Die Zahlenangaben sind der unter Literatur erwähnten Abhandlung von E. Gruner entnommen, welche ausführliche Mittheilungen über sämmtliche in Steiermark und Kärnten angewendete Röstöfen für Eisenerze enthält.

2) Abbildung dieses Ofens findet der Leser u. a. in Kerl's Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 72, Leipzig 1875; Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abth. II, S. 450. Da der Ofen aus localen Verhältnissen hervorgegangen war, ist von einer Wiedergabe der Abbildung Abstand genommen.

Fridau bei Vordernberg gebaut und sind dann auch auf einigen anderen Werken eingeführt worden.

Man benutzt Hochofengase zur Heizung; und die Veranlassung dazu ist in dem Umstande gegeben, dass für den Betrieb des Werkes Dampfkraft nicht erforderlich ist, also eine genügende Menge Gase für den Röstprocess zur Verwendung steht. Damit die Gase ohne Anwendung eines Gebläses die dicht liegende Erzsäule durchdringen, darf der Ofen weder hoch noch breit sein; die Höhe des vierseitig prismatischen Schachtes oberhalb der Gaseinströmungen beträgt nur 2.20 m, die Breite 0.55 m, die Länge 1.25 m. Je zwei Oefen stehen mit ihrer schmalen Seite aneinander und sind durch eine gemeinsame Kuppel mit Schornstein zur Verstärkung des Luftzuges überdeckt; in der Kuppel befinden sich die Thüren für das Einfüllen des Erzes. Von diesen Doppelöfen ist nun wieder eine grössere Zahl in einer fortlaufenden Reihe neben einander angeordnet, so dass im Ganzen zwei Reihen, mit dem Rücken (der schmalen Seite) an einander stossender Oefen gebildet sind. Zwischen je zwei benachbarten, in derselben Reihe befindlichen Oefen steigt das Gas, aus einem tiefer liegenden Kanale kommend, empor und gelangt durch eine Anzahl schmaler Spalten in den Ofen. Jeder Ofen hat demnach zwei einander gegenüber an den Langseiten angeordnete Reihen solcher Gaseintrittsöffnungen.

Dicht unter diesen Oeffnungen liegt, von eingemauerten Balken getragen, ein aus Eisenstäben gebildeter Rost, welcher die Erzsäule trägt und durch welchen hindurch die von unten zutretende Luft aufwärts steigt, um auf das Gas zu treffen und dieses zu verbrennen. Die Roststäbe lassen sich durch eine mit Thür versehene Oeffnung in der Vorderwand des Ofens herausziehen. Die Erze stürzen dann hinunter in den unterhalb des Rostes angeordneten, mit Ziehöffnungen versehenen Kühlraum; die durch die Ziehöffnung eintretende Luft aber streicht durch die heissen Erze hindurch und erwärmt sich hier, ehe sie in den Ofen eintritt.[1])

Der Rauminhalt eines solchen Ofens beträgt nur 1.3 cbm; die Leistung in 24 Stunden 4—4$^1/_2$ Tonnen, also per cbm etwa 350 kg. Für einen nur einigermaassen beträchtlichen Bedarf an geröstetem Erz würde demnach eine sehr grosse Zahl solcher Oefen erforderlich sein.

Um auch bei dicht liegenden Erzen eine längere gegenseitige Berührung zwischen diesen und den aufsteigenden Gasen zu ermöglichen als sie in den soeben besprochenen niedrigen Oefen von Fillafer zu erreichen ist, wurden von Moser Gasröstöfen gebaut (in Eisenerz, Neuberg u. a. a. O.), welche einem Herdflammofen mit geneigter langgestreckter Sohle zu vergleichen sind. Die Neigung des Herdes beträgt

1) Abbildungen dieser Oefen: Annales des mines, série VII, tome IX, pl. XIV; Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 175; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde Abth. 2, S. 483; A. v. Kerpely, Fortschritte der Eisenhüttentechnik 1866, S. 17.

Obschon der Construction an und für sich ein gewisses Interesse gebührt, so besitzen doch die Fillafer'schen Oefen keine allgemeinere Wichtigkeit, da ihre Einrichtung vorwiegend auf den ganz besonderen Eigenthümlichkeiten örtlicher Verhältnisse beruht.

etwa 45° C.; parallel der Herdsohle ist die gewölbte Decke angeordnet, so dass der ganze Ofen einem unter dem angegebenen Winkel aufsteigenden Kanale gleicht, in welchen oben das Erz eingeschüttet wird, um allmählich auf der Sohle herabzugleiten, während unten das Gas eintritt. Die Länge des Ofens, welcher ursprünglich mehr zum Trocknen sehr feuchter mulmiger Erze bestimmt war, später aber auch zum eigentlichen Rösten benutzt wurde, beträgt 3.5—5.5 m, die Breite 1.25—1.5 m, die Höhe der Erzschicht etwa 0.15 m. Bei ausschliesslicher Verwendung des Ofens zum Trocknen beträgt die tägliche Leistung ca. 15 Tonnen Erz, beim Rösten dagegen höchstens die Hälfte.[1])

Unter allen Gasröstöfen nimmt der in Fig. 43—46 abgebildete, zum Rösten grobstückiger Magneteisenerze in Sintertemperatur bestimmte Röstofen des Schweden Westman seiner Grösse wie seiner Leistung nach die hervorragendste Stellung ein.[2]) Seit der Erbauung des ersten dieser Oefen im Jahre 1851 auf dem Werke Söderfors bei Dannemora sind nicht allein in Schweden die schon damals sehr gebräuchlichen älteren Gasröstöfen — die sogenannten Tenninge-Oefen — mehr und mehr von demselben verdrängt worden, sondern er ist auch ausserhalb Schwedens, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen, mehrfach in Anwendung gekommen.

Die Heizung dieses Ofens wird in Schweden ausschliesslich durch Hochofengase bewirkt; mit gleich gutem Erfolge würden voraussichtlich auch Generatorgase benutzt werden können, sofern ihr Wassergehalt nicht zu bedeutend ist. Wo aber nicht Gichtgase für den Röstprocess zur Verwendung stehen, fällt, wie schon mehrfach betont wurde, eine Hauptveranlassung zur Anwendung der Gasfeuerung in Röstöfen fort; und der andere Grund zur Einführung von Gasröstöfen, die in denselben erreichbare vollständigere Entschweflung kiesiger und dichter Magneteisenerze, verliert, sofern der Schwefelgehalt der Erze nicht etwa ausnahmsweise hoch ist, an Bedeutung, wenn man die Erze nicht mit Holzkohlen, sondern mit mineralischen Brennstoffen verarbeitet.

Wenn unter solchen Verhältnissen die Anwendung des Westman'schen Ofens fast ausschliesslich auf diejenigen Bezirke der Eisenindustrie beschränkt bleibt, wo eben noch Holzkohlen als Brennstoff für die spätere Verhüttung der gerösteten Magneteisenerze zur Verwendung stehen, so verdient dennoch jener Ofen, da er immerhin ein bedeutsames Glied unter den Apparaten eines für die gesammte Eisenindustrie nicht unwichtigen Landes bildet, eine etwas ausführlichere Besprechung.

Der Schacht zeigt, abweichend von den Röstöfen für niedrigere Temperaturen, eine Erweiterung nach unten, um das Ansetzen sinternder Erze an die Wände zu erschweren, das gleichmässige Niederrücken zu erleichtern; und zwar ist diese Erweiterung am stärksten in dem

1) Abbildungen dieses ebenfalls nur für ganz besondere Verhältnisse geeigneten Ofens enthalten die oben genannten Werke: Annales des mines, pl. XIV; Dürre, Anlage u. s. w., S. 176; ferner Berg- und hüttenmännisches Jahrbuch, Bd. 16, S. 384.

2) Die mitgetheilten Notizen wie die Abbildung sind dem unter Literatur aufgeführten Werke von R. Akerman entnommen.


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA.

Fig. 43.

Westman's Ga

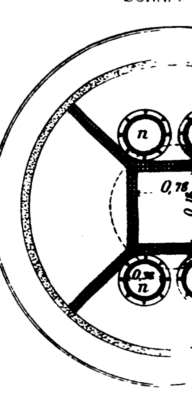
für

Magneteis

1/80 der wirklich

Fig. 4

Schnitt



Schnitt A-C

Schnitt A-B

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt



rze.

osse

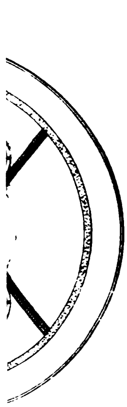


Fig. 44.

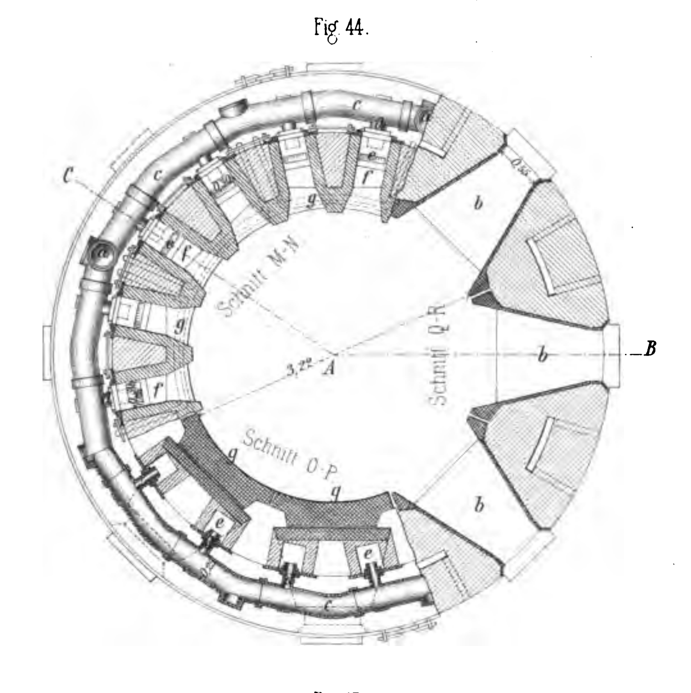
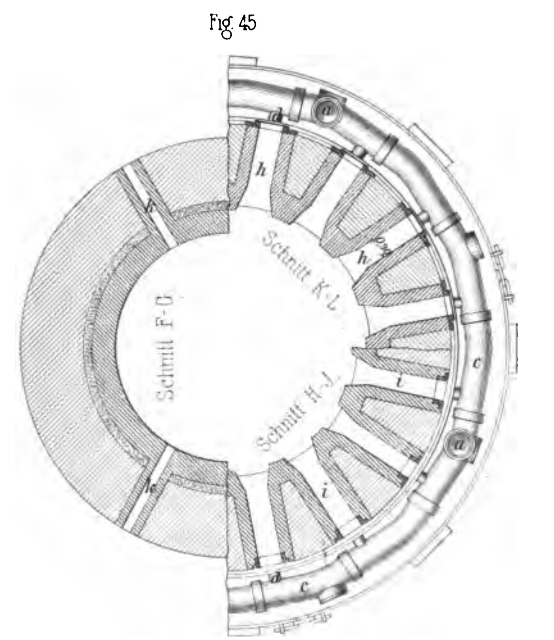


Fig. 45



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA.

unteren Theile unmittelbar über den Gaseinströmungsöffnungen, wo der sogenannte Röstgürtel sich bildet, d. h. wo die stärkste Temperatur herrscht und das Erz infolge derselben einen teigartigen Zustand annimmt. Der Ofen besteht aus Kernschacht und Rauhgemäuer; ersterer wird von einem ringförmigen, aus einzelnen Stücken zusammengesetzten Gusseisenträger *g g* getragen, welcher zugleich den innern Rand der Ausziehöffnungen *b b* .. bildet und zwischen den letzteren auf dem Mauerwerke ruht.

Die Gase treten durch zwei bis vier senkrechte Rohre *a* (Fig. 44 und 45) in das auf einem Vorsprunge ruhende, rings um den Ofen herum führende Rohr *c*, welches unmittelbar über den Ausziehöffnungen *b b* .. liegt. Aus diesem Rohre *c* gelangen die Gase durch die Rohrstutzen *d d* und die im Mauerwerke angebrachten senkrechten Kanäle *e e* in die Einströmungskanäle *f f* .. und von hier in den Ofen. Letztgenannte Kanäle, welche unmittelbar über dem Ringträger *g* angeordnet sind, sind nach rückwärts verlängert und hier durch eine Kapsel oder Thür verschlossen, so dass man im Stande ist, durch dieselben hindurch Werkzeuge zum Losbrechen der Erze in den Ofen zu führen. Die Anzahl der Gaseinströmungen ist doppelt so gross als diejenige der Ziehöffnungen, und sie liegen so dicht bei einander, dass das Erz rings herum vollständig zugänglich für jene Werkzeuge bleibt; ausserdem sind sie so dicht über den Ziehöffnungen angebracht, dass auch durch diese hindurch erforderlichen Falles Versetzungen im unteren Theile des Schachtes beseitigt werden können. So nahe über den Einströmungen *f f* .., als es in Rücksicht auf die Haltbarkeit des Ofengemäuers irgend thunlich ist, befindet sich eine zweite Reihe Störöffnungen *h h* .. und über diesen eine dritte Reihe *i i* ... Sie alle liegen so dicht bei einander und sind nach innen derartig erweitert, dass das sinternde Erz in der Ebene derselben gleichfalls vollständig zugänglich für die Werkzeuge der Arbeiter ist. Ueber diesen Störöffnungen sind nun ausserdem noch vier Reihen engerer Schauöffnungen angebracht, durch welche hindurch man die Temperatur im Innern beobachten kann. Auch diese sind wie sämmtliche Störöffnungen durch Thüren geschlossen.

Die Gicht ist während des Betriebes durch einen schräg liegenden Deckel *l* geschlossen, welcher von dem mit Erz beladenen, durch eine mechanische Vorrichtung auf der schiefen Ebene emporgezogenen Wagen *m* selbstthätig zurückgeschoben wird, sobald dieser über der Gicht anlangt, worauf die ebenfalls selbstthätige Entleerung des Wagens erfolgt. Die Gichtgase aber entweichen durch vier seitlich angebrachte Rohre *n n* .., welche in dem gemeinschaftlichen Kasten *o* münden, und werden von hier aus in die mit Klappe *q* zur Regelung des Zuges versehene, ca. 10 m hohe Esse *p* geführt.

Die Verbrennungsluft tritt durch die Ziehöffnungen in den Ofen und hat zunächst, ehe sie auf das Gas trifft, die im unteren Theile des Ofens befindlichen glühenden Erze zu passiren. Zur besseren Regelung des Luftzutrittes sind die Ziehöffnungen mit Thüren verschlossen, in denen sich je fünf, durch Drehschieber ganz oder theilweise verschliessbare Zugöffnungen befinden.

Die Anzahl der Ziehöffnungen richtet sich nach dem Durchmesser des Ofens; bei den grösseren Oefen, wie in der Abbildung, welche die

gebräuchlichsten sein dürften, sind acht Ziehöffnungen vorhanden; bei den kleinsten Oefen von 1.9 m Durchmesser im unteren Theile ist deren Zahl auf fünf beschränkt.

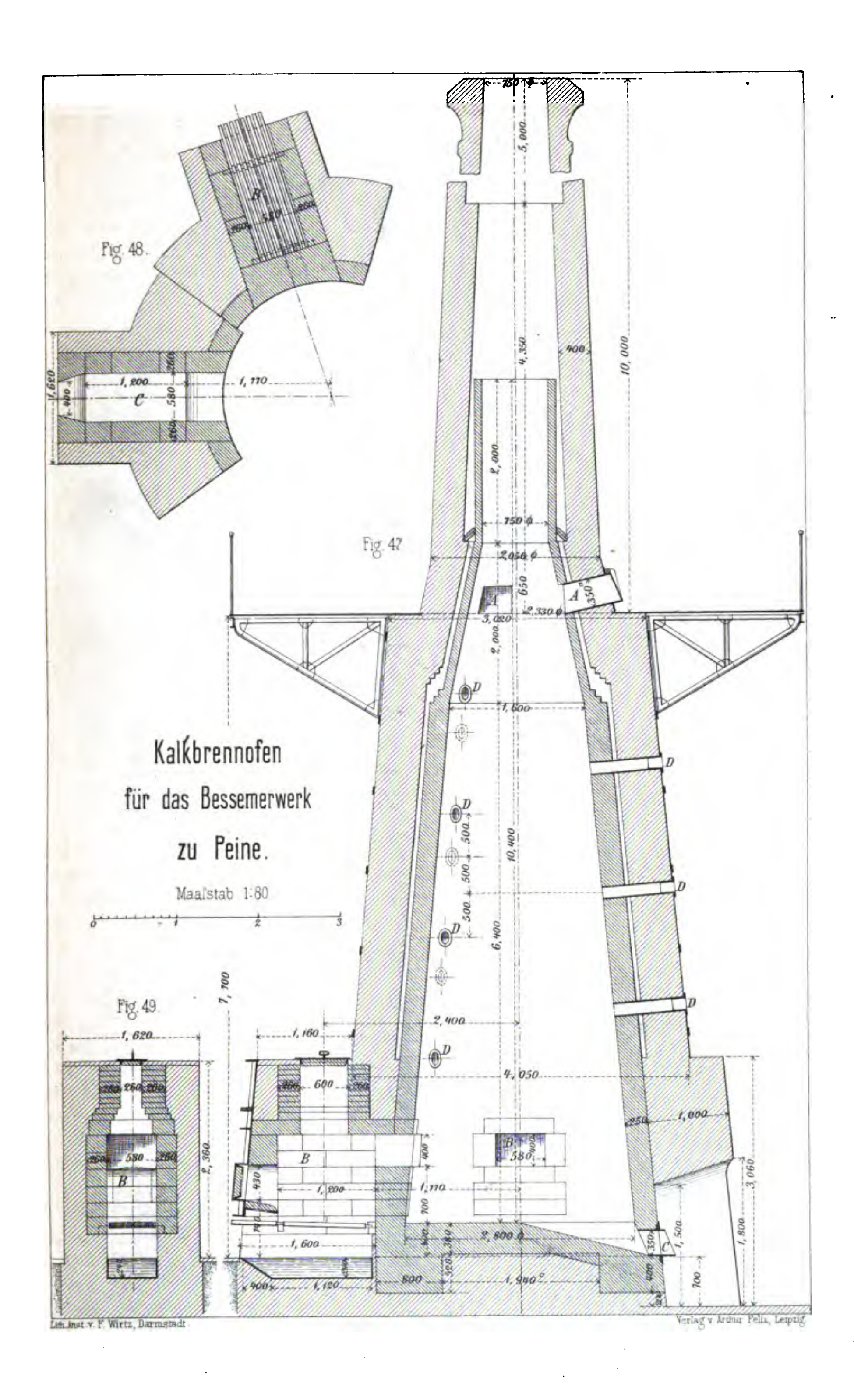
Bei einzelnen Westman'schen Oefen hat man Gebläseluft statt des natürlichen Luftzuges zur Anwendung gebracht, welche in das hohl gegossene Trägereisen *g* und durch feine Oeffnungen aus demselben in den Ofen geführt wird. Es hat sich jedoch gezeigt, dass besondere Vortheile hierdurch nicht erreicht werden.

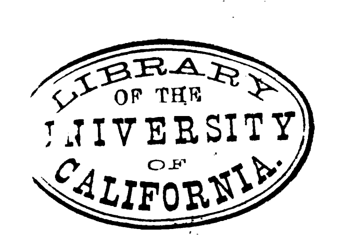
Als Leistung des Ofens rechnet man per Ziehöffnung in 24 Stunden 5000 kg; bei 8 Ziehöffnungen mithin 40 000 kg. Bei einem räumlichen Inhalte des Ofens von ca. 31 cbm würde diese Erzmenge einer Leistung von ca. 1300 kg Erz per cbm Rauminhalt entsprechen. Man pflegt in 8stündiger Arbeitsschicht durchschnittlich sechs Mal Erze zu ziehen. Das herauskommende Erz ist noch so glühend, dass man eiserner Wagen zum Fortschaffen desselben bedarf.

Als Brennstoffverbrauch giebt Rinman ca. 300 cbm Hochofengas per 1000 kg Erze an.[1]) Um einen Vergleich mit dem Brennstoffverbrauche der bisher besprochenen Röstöfen zu erhalten, würde man annehmen können, dass jene 300 cbm Gichtgase annähernd gleichwerthig sind mit einer gleich grossen Menge von Generatorgasen, aus Steinkohlen erzeugt. Zur Darstellung derselben würden etwa 70—80 kg Steinkohlen erforderlich sein. Der Brennstoffverbrauch in diesem Ofen ist also höher als bei den sämmtlichen bisher besprochenen Oefen für festes Brennmaterial, ein Umstand, der sich zur Genüge erklärt, wenn man erwägt, dass die Erhitzung der Erze eine bedeutend stärkere ist und sein soll als in jenen Oefen, und dass andterntheils auch von den noch glühend aus dem Ofen herauskommenden Erzen allerdings ein nicht ganz unbeträchtlicher Theil Wärme ungenutzt entführt wird.

Als ein Beispiel eines Röstofens mit äusserer Rostfeuerung kann der in Fig. 47—49 abgebildete Ofen zum Brennen von Kalkstein dienen, welcher im Jahre 1882 von der Gräfl. Stolbergschen Factorei zu Ilsenburg am Harz für das neu angelegte Bessemerwerk zu Peine gebaut wurde. Die Einrichtung dieses Ofens im Allgemeinen entspricht im Wesentlichen derjenigen, welche schon seit 1826 in Schweden zum Rösten von Magneteisenerzen in Anwendung ist (Röstöfen von af Uhr); aber die Höhe ist weit beträchtlicher als die der schwedischen Oefen, welche nicht über 4.5 m hoch waren. Das Einfüllen des Kalksteines geschieht durch drei mit Verschlussklappe versehene Füllöffnungen *A*, welche von einer entsprechend eingerichteten Gichtbühne aus zugänglich sind. Fünf Rostfeuerungen *B*, deren Einrichtung deutlich erkennbar ist, dienen zum Heizen des Ofens und entlassen ihre Verbrennungsgase durch Spalten von 580 mm Breite und 400 mm Höhe in den Ofen. Die Gase treffen hier zunächst auf hoch erhitzten Kalk und werden durch Luft, welche sowohl durch die Ziehöffnungen *C* als durch die Störräume (Schaulöcher) *D* zutreten kann, vollends verbrannt, um dann aufwärts zu steigen und durch die Esse zu entweichen. Zwischen je zwei

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1872, S. 112.


Kalkbrennofen
für das Bessemerwerk
zu Peine.
Maaſstab 1:80
Fig. 47
Fig. 48.
Fig. 49.
Lith. Inst. v. F. Wirtz, Darmstadt.
Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA.

Feuerungen befindet sich eine Ziehöffnung *C*, so dass deren ebenfalls fünf vorhanden sind, und der Boden des Ofens fällt nach den Ziehöffnungen hin ab.

Der Ofen lieferte sowohl hinsichtlich der Beschaffenheit des erfolgenden gebrannten Kalkes als in quantitativer Beziehung sehr befriedigende Ergebnisse. Zuverlässige Durchschnittsziffern für Brennstoffverbrauch und tägliche Leistung liessen sich bei der Kürze der Zeit, während welcher er im Betriebe war, noch nicht feststellen.

D. Das Verwittern und Auslaugen.

Das Verwittern der Erze, d. h. die längere Zeit andauernde Einwirkung der Atmosphärilien, übt theils physikalische theils chemische Einflüsse aus, welche beide die Verarbeitbarkeit der Erze erhöhen können, allerdings in dem einen Falle mehr, in dem andern weniger.

Unter dem Einflusse von Sonne und Feuchtigkeit, welche letztere in das Innere der Erzstücke eindringt, bekommen dieselben feine Risse, sie werden leichter zugänglich für die reducirenden Gase und lassen sich leichter zerkleinern. Einzelne Erze trennen sich hierbei von ihrer anhaftenden Gangart. Manche Sphärosiderite aus der Steinkohlenformation z. B. kommen mit fest anhaftendem Thonschiefer aus der Grube; beim längeren Lagern an der Luft blättert derselbe ab. Nach Percy sollen durch Anwendung dieses Processes alljährlich in Südwales grosse Summen gespart werden, welche sonst für Scheidung ausgegeben werden müssten. In kälteren Klimaten werden durch Frostwetter diese Vorgänge besonders befördert; das in die Poren eingedrungene Wasser erstarrt zu Eis und sprengt hierbei gewissermaassen die Stücke aus einander (Ausfrieren der Erze).

Die chemischen Einflüsse des Verwitterns beruhen grösstentheils auf der Umwandlung vorhandener Schwefelmetalle in lösliche Sulfate, welche dann entweder durch die natürlichen Niederschläge im Laufe der Zeit aufgelöst und entfernt werden, oder, wo man den Process zu beschleunigen wünscht, durch künstliches Auslaugen dem Erze entzogen werden können.

Die in den Erzen vorkommenden Schwefelmetalle (Kiese, Bleiglanz, Zinkblende) sind jedoch dieser Umwandlung unter dem Einflusse der Atmosphärilien nicht in gleichem Maasse unterworfen; manche bleiben auch nach jahrelanger Einwirkung unverändert. Selbst die beiden chemisch ganz übereinstimmend nach der Formel $Fe S_2$ zusammengesetzten Mineralien: Schwefelkies (Pyrit) und Strahlkies (Markasit) verhalten sich in dieser Beziehung abweichend. Der im regulären Systeme krystallisirende Schwefelkies ist den Witterungseinflüssen gegenüber sehr beständig, der rhombisch krystallisirende Markasit, welcher nicht selten neben jenem in demselben Erze vorkommt, wird schon in Kurzem zersetzt, wobei theils Sulfat, theils Schwefelsäure entsteht. Dass durch Röstung sämmtliche Schwefelmetalle zersetzt und theilweise in Sulfate übergeführt werden können, wurde früher ausführlich erörtert.

Wenn in der soeben geschilderten Weise durch länger fortgesetztes Verwittern eine Verbesserung der Beschaffenheit mancher Eisenerze zu erzielen ist, so kommt doch anderntheils dabei in Betracht, dass

nicht allein in den zur Verwitterung Jahre lang aufbewahrten Erzvorräthen ein gewisses Kapital steckt, welches, so lange die Erze nicht ihrer Bestimmung gemäss verwendet werden, zinsenlos daliegt; anderntheils, dass zum Verwittern so grosser Erzmengen, wie sie von modernen, mit Koks betriebenen Hochöfen verarbeitet werden, ein ungeheueres Areal erforderlich sein würde, welches ebenfalls als ein todtes Kapital erscheinen müsste. Während man daher bei dem verhältnissmässig schwachen Betriebe der früheren Zeit (in den ersten fünf Jahrzehnten dieses Jahrhunderts) das Verwittern der Erze oft ganz systematisch betrieb, einzelne Erzhaufen nicht selten zehn Jahre hindurch und länger den Einflüssen der Atmosphärilien aussetzte, ist das Verfahren mehr und mehr ausser Gebrauch gekommen, je umfangreicher der Betrieb sich gestaltete, wenn nicht etwa, wie bei den erwähnten thonschieferhaltigen Sphärosideriten von Südwales, in verhältnissmässig kurzer Zeit ein bestimmter Erfolg zu erreichen ist.

Das zweite erwähnte Verfahren, das Auslaugen der Erze, bezweckt eine Entfernung löslicher Bestandtheile, insbesondere also gebildeter Sulfate, in rascherer und vollständigerer Weise als es durch das Verwittern allein zu erreichen ist. Da solche löslichen Sulfate vorwiegend beim Rösten entstehen, so ist es erklärlich, dass man auch fast nur geröstete Erze dem Verfahren unterwirft. Die Ausführung des Verfahrens ist, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, mehr oder minder einfach. Gewöhnlich beschränkt man sich darauf, aus irgend einer höher gelegenen Wasserleitung von Zeit zu Zeit Wasser über die Erzhaufen hinweg zu leiten, um dann dasselbe, nachdem es die Sulfate aufgenommen hat, an einer tieferen Stelle wieder abzuleiten. Von Zeit zu Zeit wird wohl der Erzhaufen umgeschaufelt und das Verfahren wiederholt.

In besonders systematischer Weise wurde vor mehreren Jahren das Auslaugen auf der Adelbertshütte zu Cladno in Böhmen betrieben. Gemauerte mit Cement ausgekleidete Behälter von 22 m Länge, 15.5 m Breite, 2 m Tiefe dienten zur Aufnahme der Erze. Je vier solcher im Rechteck zusammenliegender Behälter bildeten zusammen eine Gruppe derartig, dass das Wasser, welches am Boden eintrat und am Rande der gegenüberliegenden Seite wieder abfloss, von dem einen in den andern Behälter hinübergeleitet wurde, wobei das frische zugeleitete Wasser stets die am längsten ausgelaugten Erze traf. Durch Bestimmung des Schwefelsäuregehaltes in dem zuletzt abfliessenden Wasser wurde der Verlauf des Processes controlirt. Nicht uninteressant ist die Zusammensetzung des beim Eindampfen des Laugwassers bleibenden Rückstandes. Derselbe enthielt:

Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	SO_3	P_2O_5	H_2O
0.57	0.61	1.51	13.28	12.28	50.60	0.14	21,09.

Die hohen Kosten des Verfahrens haben indess später die Einstellung desselben zur Folge gehabt.

In der oben beschriebenen einfacheren Ausführung ist das Auslaugen vorzugsweise bei solchen Eisenwerken in Anwendung, welche geröstete, ursprünglich stark kiesige Erze (Spathe, Sphärosiderite, Magneteisenerze) mit Holzkohlen verhütten, ein Umstand, der sich genügend

aus der mehrfach erwähnten Verschiedenheit der Wichtigkeit erklärt, welche ein Schwefelgehalt der Erze bei der Verhüttung derselben mit Holzkohlen oder mit mineralischen Brennstoffen besitzt.

Wie sich aus Vorstehendem ergiebt, erstrecken sich die Wirkungen des Auslaugens wie die chemischen Wirkungen des Verwitterns in der Regel nur auf eine Abminderung des Schwefelgehaltes der Erze. Phosphor kann bei dem Auslaugen mit Wasser höchstens in kleinen Spuren entfernt werden, da die Phosphate, als deren Bestandtheil er in den Erzen erscheint (Vivianit, Apatit) so gut wie unlöslich in Wasser sind. Wohl aber lösen sich solche Phosphate in verdünnten Säuren (wässerige schweflige Säure, Salzsäure) und lassen sich, wenn man diese zum Auslaugen der Erze benutzt, zum grossen Theile den Erzen entziehen. In der That ist dieses Verfahren längere Zeit hindurch in Cladno in den oben beschriebenen Behältern neben der Entschweflung der Erze in Anwendung gebracht, wobei man schweflige Säure als Lösungsmittel benutzte, die durch Rösten von Kiesen erzeugt und in Wasser geleitet wurde. Der Erfolg war den über diese Versuche vorliegenden Nachrichten zufolge insofern befriedigend, als den Erzen der grössere Theil ihres Phosphorgehaltes entzogen wurde; aber die Kosten werden auch hier nicht im Einklange zum Erfolge gestanden haben, und dieser Umstand wird die Ursache gewesen sein, dass auch dieses Verfahren zum Erliegen kam.

Seitdem durch neuere Erfindungen es möglich geworden ist, dem Roheisen bei seiner Umwandlung in schmiedbares Eisen den Phosphorgehalt weit vollständiger als früher zu entziehen, spielt auch der Phosphorsäuregehalt der Erze und die Entphosphorung derselben eine weniger wichtige Rolle als ehedem.

Literatur.

A. Grössere Werke.

Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abtheilung 1, S. 269 bis 446 (Vorkommen der Eisenerze), Abtheilung 2, S. 410—533 (Zerkleinern, Waschen, Rösten, Auslaugen).

E. F. Dürre, Die Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, S. 7—199 (Vorkommen und Zusammensetzung sowie Vorbereitung der Erze und Zuschläge).

A. v. Kerpely, Die Anlage und die Einrichtung der Eisenhütten. S. 278, 315, 351 (Vorrichtungen zum Zerkleinern, Waschen, Rösten).

A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhütten-Erzeugnisse. Wien 1877, S. 8—44.

Zahlreiche Notizen über Vorkommen und Zusammensetzung verschiedener Erze und Zuschläge enthalten ausserdem die Ausstellungsberichte über die Weltausstellungen zu Wien, Paris, Philadelphia von Dürre, Kerpely, Kupelwieser, Wedding (letzterer berichtete über das nordamerikanische Eisenhüttenwesen in der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. XXIV).

Ueber Aufbereitung.

P. Rittinger, Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Berlin 1867, S. 24 ff. (Poch- und Walzwerke, Wäschen).

Ueber Rösten.

R. Åkerman, Om jernmalmers rostning. Stockholm 1879. Dasselbe Werk in deutscher Uebersetzung: Das Rösten der Eisenerze, Leipzig 1880.

H. Tholander, Experimentelle Untersuchungen über die Reduction von Eisenerzen und die Wirkung der Röstung auf Magneteisensteine und Hämatite. Aus „Iron" ins Deutsche übertragen von J. v. Ehrenwerth. Wien 1878.

C. F. Plattner, Die metallurgischen Röstprocesse, theoretisch bearbeitet. Freiberg 1856.

B. Abhandlungen.

Ueber das Vorkommen von Eisenerzen.[1]

Hauchecorne, Die Eisenerze der Gegend von Elbingerode am Harz. Ztschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preussischen Staate 1868, S. 199.

Das Eisenerz „Minette". Berggeist 1865, Nr. 73; Dingl. Polyt. Journ., Bd. 178, S. 164.

M. Habets, Les minerais de fer oolithiques du Luxembourg et de la Lorraine. Rev. universelle, tome 34, p. 40.

Aug. Jaeger, Ueber die Eisenerzablagerungen von Lothringen-Luxemburg und ihre Bedeutung für die Eisenindustrie. „Stahl und Eisen", 1881, S. 138 und 171.

E. Gruner, Mémoire sur la situation de la métallurgie du fer en Styrie et en Carinthie. Première partie: Combustibles et minerais. Ann. d. mines, série VII, tome IX, p. 471.

H. A. Tappe, Der Bergbau und Mineralreichthum Algeriens. Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 432.

E. Giesler, Das oolithische Eisensteinsvorkommen in Deutsch-Lothringen. Ztschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1875, S. 9.

W. Gill, Der Eisenerzdistrict von Bilbao. „Stahl und Eisen", 1882, S. 337.

Ueber Rösten, Auslaugen etc.

Fr. Kupelwieser, Fortschritte der Verröstung der Eisenerze in Steiermark. Berg- und hüttenm. Jahrb. der k. k. Bergakademieen zu Leoben etc. Bd. XVI (1867), S. 373.

J. v. Ruttner, Röstung und Abwässerung schwefelkieshaltiger Spatheisensteine zu Mariazell. Rittinger, Erfahrungen etc. Jahrg. 1868, S. 15.

E. Gruner, Grillage des minerais en Styrie et en Carinthie. Annales des mines, série VII, tome IX, p. 540 (enthält eine ausführliche Beschreibung der Röstmethoden in den österr. Alpenländern nebst Abbildungen der Oefen).

Eisenerzröstöfen (Borrie's Röstofen, Wagner's Oefen). Berg- und hüttenm. Ztg. 1870, S. 60.

John Borrie, Röstofen für Eisenerze. Berggeist 1870, Nr. 4; Polyt. Centralbl. 1870, S. 536.

Calcination. Iron, vol. XIII, p. 163 (Abbildungen englischer Röstöfen).

Calcining kilns at the Ayresome Iron Works, Middlesborough. Engineering vol. 13, p. 170

Aufzug und Senkvorrichtung für die Röstöfen der Ayresome Iron Works. Aus Engineering 1872, p. 296 im Polyt. Centralbl. 1872, S. 1181.

---

1) Die ausserordentlich grosse Ausdehnung der Literatur über Eisenerzvorkommnisse macht eine auch nur annähernd vollständige Aufzählung aller wichtigeren Abhandlungen über diesen Gegenstand unmöglich. Es sind deshalb nur solche Arbeiten aufgeführt worden, welche entweder in Vorstehendem für die Besprechung der Eisenerze benutzt wurden oder aus besonderen Gründen für den Eisenhüttenmann besondere Wichtigkeit besitzen.

Devi, Raschette's Eisenerzröstofen. Oestr. Ztschr. für Berg- u. Hüttenwesen 1875, Nr. 43; Berg- und hüttenm. Ztg. 1875, S. 419; Polyt. Centralbl. 1875, S. 1475.

W. J. Taylor, An Ore roasting furnace. Transact. of the Amer. Inst. of Min. Eng. vol. IX, p. 304.

P. W. Hofmann, Verwerthung der Schwefelkiesrückstände auf Eisen. Ztschr. d. Ver. Deutsch. Ing., Bd. 18, S. 522; Polyt. Centralbl. 1874, S. 1477.

E. Röhrig und R. Hass, Die Eisenerze der Bidasoa und ihre Behandlung durch Rösten und Auslaugen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1873, S. 357.

Verarbeitung von Kupferkies haltenden Spatheisensteinen auf Roheisen. Ztschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1872, S. 480.

J. Zeman, Notizen aus der Adelberthütte in Cladno. (Rösten, Auslaugen). Technische Blätter 1870, S. 149; Dingler's Polyt. Journal, Bd. 198, S. 32.

J. Jacobi, Neue Methode zur Entfernung und Verwerthung der Phosphorsäure aus Eisenerzen. Bayrisches Industrie- u. Gewerbeblatt 1871, S. 187; Dingl. Polyt. Journ., Bd. 201, S. 245.

Gautier, Ueber das Entphosphorn der Eisenerze in Cladno. Berg- und hüttenm. Ztg. 1876, S. 8.

VII. Das metallurgisch-chemische Verhalten des Eisens und seiner Begleiter.

1. Allgemeines.

Chemisch reines Eisen lässt sich zwar auf chemischem Wege herstellen, besitzt aber keine technische Wichtigkeit. Man erhält es durch Reduction von reinem Eisenoxyd oder auch reinem Eisenchlorür im trockenen und von fremden Gasen (Arsenwasserstoff, Schwefelwasserstoff) reinem Wasserstoffstrome. Aus Eisenoxyd entsteht hierbei in niedriger Temperatur ein graues pyrophorisches Pulver; in höherer Temperatur erhält man weisslich glänzende Blättchen. Aus Eisenchlorür dagegen entsteht eine glänzende Schicht metallischen Eisens, in welcher sich mitunter deutlich ausgebildete Würfel erkennen lassen. Das reine Eisen krystallisirt demnach im regulären Systeme.

Wie sämmtliche übrige Metalle besitzt das Eisen die Fähigkeit, sich mit anderen Metallen sowohl als Metalloiden zu *legiren*, d. h. mit ihnen Vereinigungen von metallischem Charakter einzugehen, deren physikalische Eigenschaften oft nicht unerheblich von denen der Bestandtheile im nicht legirten Zustande abweichen, deren Zusammensetzung aber — abweichend von der Zusammensetzung einer chemischen Verbindung im eigentlichen Sinne — unabhängig ist von den Atomgewichten und innerhalb gewisser Grenzen in beliebigen Gewichtsverhältnissen erfolgen kann, ja, nicht selten vollständig unbeschränkt ist.[1]

---

1) Die aus früherer Zeit her noch vielfach gebräuchliche Beschränkung des Begriffes „Legirung" auf die Vereinigungen von Metallen mit Ausschluss der Metalloide entspricht nicht dem thatsächlichen Verhalten der letztgenannten Körper, welche mit den Metallen gar häufig Legirungen von unbeschränkter Zusammensetzung ein-

Eine solche Legirung kann demnach als eine gegenseitige Lösung zweier oder mehrerer einfacher Körper betrachtet werden, innerhalb welcher zwar wirkliche chemische Verbindungen der Bestandtheile entstehen können, ohne dass aber die Anwesenheit dieser Verbindungen nothwendig ist oder das Wesen der Legirung bedingt.[1]) Es ist nicht unwahrscheinlich, dass äussere Verhältnisse, z. B. die Temperatur, welcher eine Legirung ausgesetzt ist, auf das Entstehen (beziehentlich Zerfallen) solcher chemischen Verbindungen innerhalb einer Legirung Einfluss haben, und dass auf diesem Umstande Abweichungen beruhen, welche mitunter in den Eigenschaften scheinbar ganz übereinstimmend zusammengesetzter Legirungen sich beobachten lassen.

Alle die verschiedenen Sorten Handelseisen, deren Haupteintheilung und wichtigste Unterschiede schon auf S. 1—6 kurz besprochen worden sind, lassen sich demnach als Legirungen des Eisens mit anderen Metallen und Metalloiden betrachten, deren Menge in einzelnen Sorten schmiedbaren Eisens oft wenige Zehntel Procente nicht übersteigt, beim Roheisen mindestens 2.3 Procente, häufiger 8—12 Procente beträgt, in den Eisenmanganlegirungen aber nicht selten die Menge des Eisens überwiegt.

Wie andere Metalle zeigt das Eisen verschiedenen Körpern gegenüber verschiedene Legirungsfähigkeit. Dieselbe ist unbegrenzt, d. h. es kann Legirung des Eisens in jedem beliebigen Gewichtsverhältnisse stattfinden mit Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Kobalt, Kupfer, Gold, Platin, Aluminium, Antimon, Arsen, Schwefel, Phosphor, Silicium u. a.; sie ist beschränkt, d. h. es kann die gegenseitige Legirung nur bis zu einem gewissen Gehalte des einen oder andern Körpers ausgedehnt werden, mit Zink, Zinn, Wismuth, Kohle; fast gar nicht legirt sich das Eisen mit Blei, Silber, Quecksilber.

Obgleich die Veränderungen, welche die Eigenschaften eines einfachen Metalles, und somit auch des Eisens, durch die Legirung mit einem andern Körper erleiden, nach der Beschaffenheit und der Menge dieses letzteren sehr verschiedenartig sein können, so ist doch anderer-

---

zugehen im Stande sind, und steht geradezu im Widerspruche mit dem sonstigen Sprachgebrauche. Man spricht z. B. ohne Bedenken von Zinnantimonlegirungen, Bleiarsenlegirungen u. s. w., obgleich Antimon und Arsen von den Chemikern längst aus der Reihe der Metalle gestrichen sind.

1) Ein ganz ähnliches Verhalten zeigen viele zusammengesetzte Körper. Wasser löst zahlreiche feste und flüssige Körper in beliebigen Mengen, ohne dass chemische Verbindungen nach den Gewichtsverhältnissen der Atomgewichte dabei zu entstehen brauchen, während doch die Dichtigkeit, die Erstarrungstemperatur und andere physikalische Eigenschaften der Lösung oft erheblich andere sind, als dem Mittel der Eigenschaften der in einander gelösten Körper entsprechen würde. Auch das früher geschilderte Verhalten der Schlacken gehört hierher und zeigt grosse Aehnlichkeit mit dem der Legirungen.

seits eine gewisse Regelmässigkeit in der Richtung jener durch Legirung im Allgemeinen ausgeübten Einflüsse nicht zu verkennen. Es zeigt sich ziemlich übereinstimmend Folgendes.

Die Festigkeit des legirten Metalles ist gewöhnlich grösser als die des einfachen, sofern eine gewisse Grenze in dem Gehalte des zweiten Körpers nicht überschritten wird; sobald aber diese Grenze erreicht ist, tritt rasche Abnahme der Festigkeit ein. Bei der Legirung mit Metalloiden pflegt die Grenze früher als bei der Legirung mit Metallen erreicht zu werden.

Die Härte des legirten Metalles ist regelmässig grösser als die des einfachen.

Umgekehrt wie die Härte verhalten sich die Dehnbarkeit, Schmiedbarkeit und Zähigkeit[1]) der Metalle; aber das Maass des Einflusses, welchen verschiedene Körper in dieser Richtung ausüben, ist sehr abweichend.

Die Schmelztemperatur legirter Metalle liegt in Wirklichkeit gewöhnlich niedriger als die aus den Schmelztemperaturen der Bestandtheile der Legirung berechnete Durchschnittstemperatur; häufig sogar niedriger als die Schmelztemperatur jedes einzelnen Bestandtheiles.

Die Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektricität wird durch Legirung häufig geschwächt; d. h. sie ist geringer, als sich durch Rechnung aus dem Maasse dieser Eigenschaften bei den legirten einfachen Körpern ergeben würde.

Eine eigenthümliche Eigenschaft vieler Legirungen ist die Saigerung. Man versteht unter dieser Bezeichnung ein Zerfallen einer flüssigen Legirung beim allmählichen Erstarren in mehrere Legirungen von abweichender Schmelztemperatur, beziehentlich in Legirungen und ausgeschiedene einfache Körper, so dass der eine Bestandtheil vor dem andern fest wird und sich von diesem sondert. Der gleiche Vorgang, d. h. eine Trennung verschieden zusammengesetzter Körper mit verschiedenen Schmelztemperaturen lässt sich auch, obschon nicht so häufig, bei dem allmählichen Uebergange der Legirungen aus dem festen in den flüssigen Zustand beobachten. Je langsamer in beiden Fällen der Uebergang aus dem einen in den andern Aggregatzustand stattfand, desto stärker pflegt die Saigerung zu sein. Auch die verschiedenen im technisch dargestellten Eisen auftretenden Legirungen zeigen nicht selten diesen Vorgang, und in gewissen Fällen spielt derselbe sogar eine hochwichtige Rolle.

---

1) Dehnbarkeit kann als die Eigenschaft der Körper, im ungeschmolzenen Zustande unter Einwirkung äusserer Kräfte bleibende Formveränderungen zu ertragen, bezeichnet werden; als Schmiedbarkeit pflegt man die Dehnbarkeit der Körper im erhitzten Zustande zu bezeichnen, insbesondere, wenn die Formveränderung durch Schlagwirkung hervorgerufen wird; Zähigkeit ist das Maass des Widerstandes, welchen ein Körper der Trennung seiner Theilchen entgegensetzt, nachdem unter Einwirkung äusserer Kräfte die Elasticitätsgrenze überschritten ist. Sie bildet gewissermaassen die Grundlage der Dehnbarkeit. Ihr Gegensatz ist die Sprödigkeit.

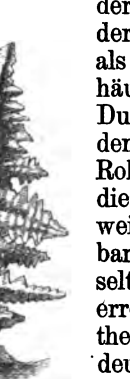
2. Krystallisation des Eisens.

Dass das chemisch reine Eisen im regulären Systeme krystallisire, wurde bereits erwähnt.

Auf der Bruchfläche und in Hohlräumen des technisch dargestellten Eisens aber lassen sich zwei ganz verschiedene Krystallformen unterscheiden.

Die eine derselben gehört ebenfalls dem regulären Systeme an. Die betreffenden Krystalle jedoch erscheinen niemals in vollkommener Ausbildung, sondern sie bestehen aus Gerippen, deren Umrisse das reguläre Oktaeder erkennen lassen und welche nur aus rechtwinkligen Balken erster, zweiter und dritter Ordnung mit abnehmenden Graden der Vollkommenheit zusammengesetzt sind.[1]) Fig. 50 zeigt das gewöhnliche Aussehen dieser Krystalle, die man in der Praxis einer gewissen Aehnlichkeit mit der Form eines Tannenbäumchens halber wohl als „Tannenbaumkrystalle" bezeichnet. Am häufigsten und grössten (mitunter mit einem Durchmesser von mehreren Centimetern) finden sie sich in Drusenräumen des grauen Roheisens, deren Wände oft vollständig mit diesen Krystallen bedeckt sind; aber auch im weissen Roheisen wie im gegossenen schmiedbaren Eisen lassen sie sich, obschon sie hier selten die Grösse wie im grauen Roheisen erreichen, theils mit unbewaffnetem Auge, theils mit der Lupe oder dem Mikroskope deutlich erkennen.

Fig. 50.



Man pflegt nach Tunner[2]) diese Krystalle als krystallisirtes „reines" oder „freies" Eisen zu betrachten, welches beim Erstarren infolge einer stattfindenden Saigerung aus dem mit anderen Körpern legirten Eisen sich trennte. Der Umstand, dass gerade solche Eisensorten besonders reich an derartigen Bildungen zu sein pflegen, welche bei einem verhältnissmässig hohen Gehalte an reinem Eisen eine Neigung besitzen, beim Erstarren zu „saigern", d. h. in verschieden zusammengesetzte Körper zu zerfallen (die von fremden Stoffen reineren Sorten grauen Roheisens), verleiht jener Annahme einen ziemlich hohen Grad von Wahrscheinlichkeit. Dass bei der Analyse dieser Krystalle nicht etwa blos chemisch reines Eisen gefunden wird, sondern dass die Zusammensetzung derselben ziemlich genau mit derjenigen übereinstimmt, welche das Muttereisen besitzt, spricht nicht etwa gegen die erwähnte Theorie. Die Krystalle sind aus der Krystallisation des erstarrenden freien Eisens hervorgegangen; mechanisch aber enthalten sie die fremden Stoffe eingeschlossen, welche im flüssigen Zustande mit dem Eisen legirt waren. Ihre unfertige Form ist vielleicht eine Folge der Anwesenheit dieser fremden Körper; und thatsächlich pflegen diejenigen Krystalle die

---

1) A. Knop, Molekularconstitution und Wachsthum der Krystalle. Leipzig 1867, S. 68.

2) Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben und Přibram, Bd. X (1861), S. 477.

schärfsten Umrisse zu zeigen, welche aus den reinsten Eisensorten auskrystallisirten.

Auf Grund dieses Umstandes hat man beim Roheisen nicht ohne allen Erfolg versucht, aus der Form der Krystalle Schlüsse auf seine Reinheit und Festigkeit zu ziehen. [1])

Die zweite, im technisch dargestellten Eisen auftretende Gattung von Krystallen sind Prismen (Säulen, Nadeln) des rhombischen Systemes. Sie fehlen gänzlich in den reinsten Eisensorten (im schmiedbaren Eisen) wie in demjenigen Eisen, welches bei der Erkaltung einem starken Zerfallen der Bestandtheile unterlag, und treten am deutlichsten in den Legirungen des Eisens mit Mangan und Kohlenstoff hervor, in welchen sie mitunter, wenn der Mangangehalt 30—40 Proc. beträgt, eine Länge bis zu 8 cm bei einem Durchmesser von 5—8 mm erreichen. Bei noch höherem Mangangehalte sind sie gewöhnlich kleiner, aber häufig sehr deutlich ausgebildet; bei abnehmendem Mangangehalte werden sie undeutlicher, sind aber bei genauer Untersuchung auch noch in vielen Roheisensorten zu entdecken, deren Mangangehalt nur wenige Procente beträgt. Man kann diese Krystalle als legirtes Eisen betrachten, welches, ohne zu saigern, erstarrte. [2])

Die Anwesenheit jenes oktaedrisch krystallisirenden Bestandtheiles der Eisensorten, des freien Eisens, pflegt sich durch eine körnige Beschaffenheit der Bruchfläche zu verrathen, sofern eben die Menge desselben vor der des legirten Eisens vorwiegt; letzteres dagegen ist, abweichend nach der Zusammensetzung der Legirung, durch eine blättrige, feinkrystallinische oder auch dichte Bruchfläche gekennzeichnet.

3. Reduction des Eisens aus seinen Verbindungen.

Wie schon früher besprochen wurde, verwendet man für die Darstellung des Eisens ausschliesslich Sauerstoffverbindungen (beziehentlich Carbonate und Silikate), und als Reductionsmittel für dasselbe aus diesen Verbindungen werden vorwiegend Kohlenstoff im festen Zustande oder gasförmiges Kohlenoxyd benutzt. Der chemische Vorgang bei dieser Reduction wurde durch entsprechende Formeln auf S. 12 veranschaulicht, wobei allerdings nur auf den Fall Rücksicht genommen wurde, dass die Zusammensetzung des zu reducirenden Körpers dem Typus RO entspricht (also Eisenoxydul reducirt wird); es wird jedoch dem Leser nicht schwer fallen, die betreffenden Formeln auch für andere Oxydstufen des Eisens (Fe_3O_4, Fe_2O_3) zu entwickeln. [3])

---

1) E. Schott, Die Kunstgiesserei in Eisen. Braunschweig 1873, S. 17. E. F. Dürre, Ueber die Constitution des Roheisens. Leipzig 1868, S. 69. B. Kerl, Handbuch der metallurgischen Hüttenkunde, 2. Aufl., Freiberg 1861, Bd. III, S. 26. Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, S. 343.

2) Nicht alles legirte Eisen jedoch krystallisirt in Säulen. Bei Siliciumeisen z. B. glaubt Mrázek, wie unten ausführlicher erwähnt ist, Krystallisation im tesseralen System beobachtet zu haben.

3) Die erwähnte Formel für die Reduction durch festen Kohlenstoff: $RO + C = R + CO$ stellt den Verlauf in der Weise dar, wie er bei der Reduction von Eisenoxyden stattzufinden pflegt, d. h. in hoher Temperatur und bei einem Ueberschusse von Kohle. Dass in niedrigerer Temperatur auch Reduction unter Bildung von Kohlensäure stattfinden könne, wurde durch Versuche von John Parry nachgewiesen (vergl. Literatur).

Die Reduction durch feste Kohle pflegt man directe Reduction, diejenige durch Kohlenoxyd indirecte Reduction zu nennen, wobei man die letztere Bezeichnung aus der Thatsache herleitet, dass hier der Kohlenstoff, welcher doch in beiden Fällen das eigentliche Reductionsmittel bildet, zunächst in Kohlenoxyd übergeführt werden muss.

Bei der Reduction durch Kohlenstoff ist, wie sich aus den erwähnten Formeln ergiebt, das Verbrennungserzeugniss desselben mit dem entzogenen Sauerstoff im Wesentlichen Kohlenoxyd, bei der Anwendung von Kohlenoxyd als Reductionsmittel entsteht Kohlensäure. Da nun, wie früher (S. 20) ausführlicher erörtert wurde, 1 kg Kohlenstoff, wenn derselbe im festen Zustande sich befindet und zu Kohlenoxyd verbrennt, nur 2473 W.-E. entwickelt, wenn er dagegen gasförmig (im Kohlenoxyd) vorhanden war, 5607 W.-E. zu liefern fähig ist, so wird auch hinsichtlich des für die Reduction der Eisenoxyde erforderlichen Wärmeverbrauches sich ein gleich grosser Unterschied bemerkbar machen, je nachdem Kohlenstoff oder Kohlenoxyd als Reductionsmittel dient.

Wenn z. B. Eisenoxydul durch festen Kohlenstoff nach Formel 1 auf S. 12 zu metallischem Eisen unter Bildung von Kohlenoxyd reducirt wird, so verläuft der Vorgang, den Atomgewichten der Elemente entsprechend, nach folgenden Gewichtsverhältnissen, wobei der Einfachheit halber 1 kg als Gewichtseinheit angenommen ist:

(56 kg Eisen + 16 kg Sauerstoff) + 12 kg Kohle = 56 kg Eisen + 28 kg Kohlenoxyd.

Bezieht man den Vorgang auf 1 (statt 12) kg Kohle, so erhält man

a) ($^{14}/_{3}$ kg Eisen + $^{4}/_{3}$ kg Sauerstoff) + 1 kg Kohle = $^{14}/_{3}$ kg Eisen + $^{7}/_{3}$ kg Kohlenoxyd.

Da nun früheren Erörterungen gemäss der Wärmeverbrauch zur Zerlegung einer chemischen Verbindung ebenso gross ist als der Wärmegewinn bei der Entstehung derselben (S. 10), 1 kg Eisen aber bei der Verbrennung zu Eisenoxydul 1352 W.-E. entwickelt (S. 22), so ist das Verhältniss zwischen verbrauchter und gewonnener Wärme bei diesem Vorgange Folgendes:

$^{14}/_{3}$ kg Eisen erheischen, um aus dem Eisenoxydul reducirt zu werden, einen Wärmeverbrauch = $^{14}/_{3} \times 1352$	6309 W.-E.
1 kg Kohle liefert bei der Verbrennung zu $^{7}/_{3}$ kg Kohlenoxyd einen Wärmegewinn = ...	2473 „
also erforderlicher Nettoverbrauch an Wärme .	3836 W.-E.

Man kann die Rechnung in derselben Weise auch auf 1 kg des dem Eisen entzogenen Sauerstoffes oder auch auf 1 kg reducirten Eisens beziehen und erhält alsdann:

b) Netto-Wärmeverbrauch bei der Reduction des Eisenoxyduls durch Kohle

per 1 kg entzogenen Sauerstoffes	2877 W.-E.
„ 1 „ reducirten Eisens	822 „

Geschieht die Reduction nicht durch feste Kohle, sondern durch Kohlenoxyd, so gestaltet sich der Vorgang folgendermaassen:

(56 kg Eisen + 16 kg Sauerstoff) + 28 kg Kohlenoxyd = 56 kg Eisen + 44 kg Kohlensäure.

Auf 1 kg des im reducirenden Kohlenoxyd enthaltenen Kohlenstoffes bezogen:

c) ($^{14}/_3$ kg Eisen + $^4/_3$ kg Sauerstoff) + $^7/_3$ kg Kohlenoxyd = $^{14}/_3$ kg Eisen + $^{11}/_3$ kg Kohlensäure.

Demnach beträgt das Verhältniss zwischen verbrauchter und gewonnener Wärme:

$^{14}/_3$ kg Eisen erheischen einen Wärmeverbrauch (wie in Formel a)	6309 W.-E.
$^7/_3$ kg Kohlenoxyd liefern bei ihrer Verbrennung einen Wärmegewinn = $^7/_3 \times 2403$ (S. 20)	5607 „
also erforderlicher Netto-Wärmeverbrauch . . .	702 W.-E.

Durch eine gleiche Rechnung erhält man den Netto-Wärmeverbrauch bei der Reduction des Eisenoxyduls durch Kohlenoxyd:

d) per 1 kg entzogenen Sauerstoffes	527 W.-E.
„ 1 „ reducirten Eisens	150 „

Prüft man den Vorgang bei anderen Oxydationsstufen des Eisens, so gelangt man zu ähnlichen Ergebnissen. So z. B. ist der Vorgang bei der Reduction des Eisenoxydes Fe_2O_3

durch Kohle . . . $Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO$

„ Kohlenoxyd . $Fe_2O_3 + 3CO = 2Fe + 3CO_2$.

Durch Einschaltung der betreffenden Zahlenwerthe unter Benutzung der auf S. 22 gegebenen Ziffern für den Wärmeverbrauch bei der Zerlegung des Eisenoxydes erhält man alsdann:

e) Wärmeverbrauch bei der Reduction des Eisenoxydes durch Kohle

per 1 kg als Reductionsmittel benutzter Kohle:

$^{28}/_9$ kg Eisen erheischen $^{28}/_9 \times 1796$	5587 W.-E.
1 „ Kohle liefert	2473 „
Netto-Wärmeverbrauch	3114 W.-E.

und ebenso

per 1 kg entzogenen Sauerstoffes	2336 W.-E.
„ 1 „ reducirten Eisens	1000 „

f) Wärmeverbrauch bei der Reduction des Eisenoxydes durch Kohlenoxyd

per 1 kg des im reducirenden Kohlenoxyd enthaltenen Kohlenstoffes:

zur Zerlegung von $^{28}/_9$ kg Eisen wie oben	5587 W.-E.
durch Verbrennung von $^7/_3$ kg Kohlenoxyd erzeugt $^7/_3 \times 2403$	5607 „
Netto-Wärmegewinn (statt Verbrauch) . . .	20 W.-E.

und ebenso

per 1 kg entzogenen Sauerstoffes Wärmegewinn . . .	15 W.-E.
„ 1 „ reducirten Eisens Wärmegewinn	7 „

Es zeigt sich in allen Fällen bei der Reduction durch Kohle ein erheblicher Mehrbedarf an Wärme als bei der Reduction durch Kohlenoxyd, wie sich aus der geringeren Verbrennungswärme des festen Kohlenstoffes im Vergleiche zu der Verbrennungswärme des im Kohlenoxyde vorhandenen gasförmigen Kohlenstoffes erklärt; und dieser Mehrverbrauch muss natürlich, damit der Reductionsprocess möglich werde, durch einen entsprechend höheren Aufwand an Brennstoff gedeckt werden.

Während bei der Reduction des Eisenoxydes durch Kohlenoxyd der Wärmeverbrauch und der Wärmegewinn sich annähernd decken (Formel f), ein Aufwand fremder Wärme also nicht erforderlich ist, sofern die Körper die zur Durchführung der Reaction erforderliche Temperatur besitzen, ist bei der Reduction durch Kohlenstoff im festen Zustande für jedes zur Reduction verbrauchte Kilogramm Kohle ein Wärmeaufwand von 3114 W.-E. erforderlich (Formel e), welches nur durch Verbrennung einer ferneren Menge Kohlenstoff erzeugt werden kann.

Diese erhebliche Verschiedenheit in dem Wärmeverbrauche bei der Reduction der Eisenoxyde durch Kohle und Kohlenoxyd ist von grosser Wichtigkeit und liefert die Erklärung für manche sonst unverständliche Vorgänge bei der Eisendarstellung.

In wirthschaftlicher Beziehung lässt sich nun allerdings ein Ausgleich dieses Missverhältnisses herbeiführen, sofern man das bei der Reduction durch Kohle entstandene Kohlenoxyd als Brennstoff benutzt; für die Durchführung des Reductionsprocesses selbst aber bleiben offenbar ganz andere Maassregeln erforderlich, je nachdem Reduction in der einen oder andern Weise stattfindet.

In dem einen Falle bleibt die Temperatur durch den Reductionsprocess unverändert, da Wärmegewinn und Wärmeverbrauch sich ausgleichen; in dem andern Falle muss von aussen stetig Wärme zugeführt werden, um den stattfindenden Wärmeverbrauch zu ersetzen. Geschieht dieses nicht, so sinkt naturgemäss die Temperatur im Reductionsraume und der Process hört auf.

Die Reduction der Eisenoxyde durch festen Kohlenstoff beginnt bei einer Temperatur von ca. 400° C., verläuft aber in dieser Temperatur äusserst langsam, auch wenn beide Körper innig gemischt sind. Parry, welcher künstlich dargestelltes Eisenoxyd mit einer ausreichenden Menge von Kohle zur Bildung von Kohlenoxyd (1 g Eisenoxyd mit 0,25 g Kohle) im luftleeren Raume glühte, fand, dass nach $7^1/_2$ stündiger Einwirkung nur $1^1/_2$ Proc. des Sauerstoffgehaltes dem Erze entgegen waren und zum grössten Theile Kohlensäure gebildet hatten (87,2 Vol. Kohlensäure, 12,8 Vol. Kohlenoxyd). In höherer Temperatur steigerte sich das Verhältniss des entstehenden Kohlenoxydes zur Kohlensäure selbst dann, wenn man dem Eisenoxyd nur eine solche Menge Kohle beigemengt hatte, welche bei vollständiger Reduction eben zur Kohlensäurebildung ohne Bildung von Kohlenoxyd ausgereicht haben würde.[1]) Es erklärt sich diese Erscheinung zur Genüge

1) Vergl. Literatur.

aus dem früher (S. 13—14) geschilderten Verhalten der Kohle und des Kohlenoxydes gegenüber dem Sauerstoff, wie der Kohlensäure gegenüber dem metallischen Eisen. Ein Gasgemisch aus Kohlensäure und Kohlenoxyd kann bei Gegenwart von metallischem Eisen um so weniger des ersteren Gases enthalten, je höher die Temperatur ist.

Theils wegen der mangelhaften gegenseitigen Berührung zwischen fester Kohle und ungeschmolzenen Eisenoxyden, theils wegen der geringen Einwirkung in niedriger Temperatur ist Kohle, wie schon auf S. 13 hervorgehoben wurde, ein geeignetes Reductionsmittel vorzugsweise in solchen Fällen, wo eine reducirende Einwirkung auf geschmolzene Massen hervorgerufen werden soll.

Die reducirende Einwirkung des Kohlenoxydes beginnt nach Versuchen von L. Bell — wenigstens auf geröstete Clevelanderze (Sphärosiderite) — schon bei einer Temperatur von etwa 200° C.[1]), ist aber hier nur sehr schwach, so dass bei einem derartigen Versuche 100 Theilen Erz (welche ca. 20 Proc. an Eisen gebundenen Sauerstoff enthalten dürften) per Stunde nur 0.05 Proc. Sauerstoff (also ca. 0.25 Proc. des ursprünglichen Sauerstoffgehaltes) entzogen wurden. Mit der Temperatur aber steigert sich das Maass der Einwirkung; dasselbe ist bei Zinkschmelzhitze (430°) etwa 20 Mal so stark als in jener Anfangstemperatur, und nach Versuchen von Schinz[2]) in Temperaturen zwischen 800—900° C. etwa 3 Mal so stark als in Zinkschmelzhitze. Auch bei Versuchen, welche Tunner innerhalb eines Hochofens anstellte[3]) und auf welche inskünftige noch öfter Bezug genommen werden wird, zeigte sich, dass eine rasche, kräftige Einwirkung erst in jener Temperatur von nahezu 900° C. erreicht werde.

Immer jedoch kommt hierbei wieder der Umstand in Betracht, dass bei der Reduction der Gase durch Kohlenoxyd die entstehende Kohlensäure vermöge ihrer Fähigkeit, oxydirend auf metallisches Eisen zu wirken, die reducirende Kraft des noch vorhandenen Kohlenoxydes um so mehr abschwächt, je höher die Temperatur ist; und dass aus diesem Grunde bei der Einwirkung eines kohlenoxydhaltigen Gasstromes auf Eisenoxyde die Erneuerung desselben um so rascher vor sich gehen, d. h. die Geschwindigkeit des Gasstromes um so grösser sein muss, je höher die in dem Reductionsraume herrschende Temperatur ist. Im andern Falle tritt Stillstand der Reduction ein. Die Verhältnisse zwischen Kohlenoxyd und Kohlensäure, unter denen ein Gasstrom sich in verschiedenen Temperaturen neutral sowohl gegen oxydirtes als gegen metallisches Eisen verhält, wurden auf S. 13 mitgetheilt.[4])

Jene Abminderung der reducirenden Kraft des Kohlenoxydes durch die entstehende Kohlensäure wird offenbar vermieden, wenn neben den Eisenoxyden feste Kohle zugegen ist, welche wieder reducirend auf die

1) J. Lowthian Bell, Ueber die Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen. Deutsch von P. Tunner. Leipzig 1870, S. 106.

2) Dokumente betreffend den Hochofen, S. 74.

3) Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben, Přibram und Schemnitz, Bd. IX, S. 309.

4) Nach J. L. Bell-Tunner, Entwickelung und Verwendung von Wärme in Eisenhochöfen, S. 44.

entstehende Kohlensäure wirkt und somit einen Gleichgewichtszustand herstellt. Der Vorgang lässt sich durch die Formel

$$FeO + CO + nC = Fe + 2CO + (n - 1)C$$

darstellen.

Der Wärmeverbrauch hierbei ist nun freilich derselbe, als wenn feste Kohle unmittelbar als Reductionsmaterial dient; d. h. er ist entschieden ungünstiger, als wenn Kohlenoxyd nicht wieder reducirt wird und Kohlensäure als das Enderzeugniss des Processes erscheint. Günstiger aber, als bei directer Reduction durch festen Kohlenstoff ist der Verlauf insofern, als das gasförmige Kohlenoxyd, so lange Schmelzung nicht eingetreten ist, kräftiger, rascher auf die Eisenoxyde einzuwirken vermag als jener. Ueber die grossen Abweichungen in der Einwirkung verschiedener Kohlensorten auf Kohlensäure vergl. S. 18.

Dass eine Verdünnung des Kohlenoxydes auch durch indifferente Gase (Stickstoff) die Reduction verzögern müsse, lässt sich von vorn herein muthmaassen, wurde aber auch durch die von Schinz angestellten, schon erwähnten Versuche über die Reduction der Eisenerze bestätigt. Derselbe fand, dass nach den Durchschnittsergebnissen mehrerer Versuche, bei welchen theils ein Gasstrom mit 49.3 Proc. Kohlenoxyd, theils ein solcher mit nur 34.6 Proc. dieses Gases benutzt wurde, in gleicher Zeit die doppelte Menge Sauerstoff durch das erstere als durch das letztere Gas entzogen wurde. Allerdings war bei den Versuchen mit den reicheren Gasen, auch die Temperatur durchschnittlich um ca. 50° C. höher (755° C. gegenüber 707° C. bei Anwendung des ärmeren Gases) und die Geschwindigkeit des Gasstromes, d. i. die Menge des zugeleiteten Gases in der Zeiteinheit um 2 Proc. beträchtlicher; auch unter Berücksichtigung dieser etwas günstigeren Verhältnisse bleibt jedoch die Abschwächung der Einwirkung des Kohlenoxydes durch die stärkere Verdünnung unverkennbar.

Die Thatsache, dass jede Reduction, also auch die durch Kohlenoxyd bewirkte, einer gewissen Zeit bedarf, ist so selbstverständlich, dass sie keiner besondern Erläuterung bedarf. Tunner zog aus seinen oben erwähnten Versuchen über die Reduction der Erze im Hochofen den allerdings nur in sehr allgemeiner Form zulässigen Schluss, dass bei dieser Reduction eine gesteigerte Temperatur (800—900° C.) kräftiger wirke als eine längere Zeitdauer in niedrigerer Temperatur.

Dass die Reducirbarkeit verschiedener Eisensauerstoffverbindungen eine ziemlich abweichende sein könne, dass einige in niedrigerer Temperatur und in kürzerer Zeit als andere ihren Sauerstoff an den reducirenden Körper, also vorwiegend an Kohlenoxyd, abgeben als andere, wurde schon mehrfach, insbesondere auch bei Besprechung der Eisenerze, hervorgehoben. Unter letzteren pflegt man, auf praktische Erfahrungen sich stützend, die Brauneisenerze, gerösteten Spathe und gerösteten Sphärosiderite als die durchschnittlich am leichtesten reducirbaren zu betrachten; an diese reihen sich die Rotheisenerze, dann die ungerösteten Spathe und Sphärosiderite, welche erst bei Temperaturen von ca. 800° C. zersetzt und der Einwirkung reducirender Körper zugänglich werden, hiernach folgen die Magneteisenerze und zuletzt die Silikate. Dass die Reducirbarkeit der Magneteisenerze wie

der Silikate (Frischschlacken) durch oxydirende Röstung nicht unerheblich gesteigert werden könne, wurde ebenfalls schon erwähnt; jedoch pflegen sie auch im gerösteten Zustande den Rotheisenerzen an Reducirbarkeit nachzustehen.

Im Uebrigen lassen sich nur ganz allgemeine Regeln hierfür aufstellen, da die äussere Beschaffenheit, insbesondere die Porosität, jedes einzelnen Erzstückes wie auch die Art der fremden Beimengungen des Erzes hierbei von grossem Einflusse sind. Erze, deren Gangarten bei der Erhitzung zersetzt werden, hierbei ein theilweises Zerfallen des Erzstückes oder doch eine Auflockerung desselben bewirken (kalkspathhaltige Erze), werden im Allgemeinen den reducirenden Einflüssen zugänglicher sein als andere, welche ihre dichte Beschaffenheit unverändert beibehalten oder wohl gar schon in verhältnissmässig niedriger Temperatur mit den Gangarten zusammenschmelzen; u. s. f. Wie grosse Unterschiede sich in dieser Beziehung selbst bei Erzen ergeben, welche an und für sich einander ziemlich ähnlich sind, zeigen folgende von J. L. Bell angestellte Versuche.[1])

Sechs Erzsorten und zwar
Nr. 1 Gerösteter unverwitterter Spatheisenstein,
„ 2 „ etwas verwitterter Spatheisenstein,
„ 3 „ in Braunerz umgewandelter Spatheisenstein,
„ 4 „ in braunen Glaskopf umgewandelter Spatheisenstein,
„ 5 „ in Blauerz umgewandelter Spatheisenstein,
„ 6 „ Clevelandeisenstein (Sphärosiderit)

wurden 8 Stunden hindurch bei etwa 400° C. (Zink erweicht) einem Strome von Kohlenoxydgas ausgesetzt. Die Menge des entzogenen Sauerstoffgehaltes betrug in Procenten des ursprünglichen Sauerstoffgehaltes:

	Erz Nr. 1	2	3	4	5	6
bei dem ersten Versuche . .	71.73	91.31	29.5	42.92	17.18	41.91
„ „ zweiten „ . .	65.3	74.1	30.3	40.8	17.0	39.3.

Als man statt des reinen Kohlenoxydgases ein Gemenge von gleichen Volumtheilen Kohlensäure und Kohlenoxydgas[2]) anwendete, ergab sich der Sauerstoffverlust

Erz Nr. 1	2	3	4	5	6
29.2	31.2	12.89	9.71	6.48	9.35

Nicht uninteressant sind ferner die Ergebnisse, welche man erhielt, als man eine Probe der gerösteten Spatheisensteine einerseits, gemengt mit 35 Proc. ihres eigenen Gewichtes Holzkohlenpulver, und eine Probe der gerösteten Clevelanderze andererseits, gemengt mit 40 Proc. ihres eigenen Gewichtes Kokspulver, in heller Rothgluth 45 Minuten lang der Einwirkung eines Gasstromes aussetzte, welcher bei dem zuerst genannten Erze aus 64 Vol. Kohlenoxyd und 36 Vol. Kohlensäure, bei dem zweiten Erze aus 60 Vol. Kohlenoxyd und 40 Vol. Kohlensäure bestand.

---

1) Journal of the Iron and Steel Institute, 1872, vol. I, p. 76; Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben etc., Bd. XXI, S. 235.

2) Durch Zersetzung von Oxalsäure erhalten.

Die Spatheisensteine verloren 46.2 Proc. Sauerstoff, die Holzkohle 22 Proc. Kohle;

die Clevelanderze verloren 22.3 Proc. Sauerstoff, die Koks 5 Proc. Kohle.

Die durchschnittliche Zusammensetzung der aus dem Reductionsprocesse hervorgehenden Gase war

	Vol. CO	Vol. CO_2
bei den Spatheisensteinen mit Holzkohle . .	71.8	28.2
„ „ Clevelanderzen mit Koks.	55.8	44.2.

Letztere Ziffern lassen aufs Neue die stärkere Fähigkeit der Holzkohle erkennen, Kohlensäure, welche bei der Reduction der Erze entstanden war, wieder zu Kohlenoxyd zu reduciren.

Nicht ohne Wichtigkeit ist die Beantwortung der Frage, ob die Reduction höherer Oxydationsstufen des Eisens, insbesondere des Eisenoxydes Fe_2O_3, durch irgend einen reducirenden Körper plötzlich, ohne dass das Oxyd allmählich niedrigere Oxydationsstufen durchläuft, stattfindet, oder wie im anderen Falle diese Oxydationsstufen zusammengesetzt sind.

Es ist durchaus nicht zweifelhaft, dass man Eisenoxyden einen grossen Theil ihres Sauerstoffgehaltes entziehen kann, ohne dass Reduction zu metallischem Eisen stattzufinden braucht. Besonders deutlich ist diese Thatsache bei der Einwirkung reducirender Körper in niedrigeren Temperaturen bemerkbar. Das Eisenoxyd nimmt allmählich eine schwärzliche Farbe an und die Analyse zeigt den stattgehabten Sauerstoffverlust, aber metallisches Eisen braucht deshalb noch nicht gegenwärtig zu sein. J. L. Bell ermittelte durch Versuche, dass, wenn man ein Gemisch von gleichen Volumtheilen Kohlenoxydgas und Kohlensäure in heller Rothgluth über Eisenoxyd leitet, die Reaction aufhört, sobald das letztere ein Drittel seines Sauerstoffgehaltes abgegeben hat, also in Oxydul umgewandelt ist; und dass andererseits metallisches Eisen (Eisenschwamm, durch Reduction von Eisenoxyd dargestellt) unter denselben Einflüssen so lange oxydirt wird, bis es ebenfalls in Eisenoxydul umgewandelt worden ist.[1]) Einem Gasstrom von der angegebenen Zusammensetzung gegenüber verhält sich demnach in jener Temperatur nur das Oxydul neutral.

Andererseits lässt sich Kohlenoxyd vollständig in Kohlensäure umwandeln, wenn es in beschränkter Menge über eine ausreichend grosse Menge Eisenoxyd geleitet wird, ein Vorgang, bei welchem in Anbetracht der oxydirenden Einwirkung der Kohlensäure auf Eisen die Entstehung von metallischem Eisen unmöglich ist.

Alle diese Vorgänge beweisen, dass das Eisenoxyd bei seiner Reduction in den allermeisten Fällen — wenn nicht ausnahmslos — allmählich niedrigere Oxydationsstufen durchläuft, bis schliesslich das metallische Eisen daraus hervorgeht.

Weniger zuverlässig aber sind die Ermittelungen über die Zusammensetzung dieser Oxydationsstufen.

---

1) Oesterr. Ztschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 485.

Schinz fand, dass noch Eisenoxyd $Fe_2 O_3$ neben metallischem Eisen (und jedenfalls auch neben Eisenoxydul) zugegen sein könne[1]; Kupelwieser und Schöffel fanden in einem Erze, welches aus einem Eisenhochofen entnommen wurde, nachdem es den reducirenden Einflüssen desselben bei einer Temperatur von ca. 960° C. ausgesetzt gewesen war, nur noch Eisenoxydul neben metallischem Eisen.[2] Beide Ergebnisse zusammen beweisen, dass sowohl Eisenoxyd $Fe_2 O_3$ als Eisenoxydul Fe O neben einander, unter Umständen auch neben schon gebildetem metallischem Eisen, in dem in Reduction befindlichen Erze auftreten können. Die durch früher erwähnte Versuche (S. 189) zweifellos festgestellte Thatsache jedoch, dass das Eisenoxyduloxyd, wie es uns in der Natur als Magneteisenerz entgegentritt, schwieriger reducirbar ist als das Eisenoxyd, spricht entschieden gegen die Annahme, dass nun bei der Reduction des letzteren zunächst wieder ein Eisenoxyduloxyd, d. h. eine einzige chemische Verbindung mit niedrigerem Sauerstoffgehalte als es das Oxyd und höherem Sauerstoffgehalte als es das Oxydul besitzt, gebildet werde. Auch die beim Rösten der Magneteisenerze stattfindende Auflockerung ihres Gefüges ist allein kaum ausreichend, jenen Widerspruch zu erklären.

Es lässt sich auf Grund dieser Erwägungen mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit annehmen, dass das $Fe_2 O_3$ bei der Reduction zunächst in Fe O, dann in metallisches Eisen übergehe, und dass, wo die Analyse eine höhere Oxydationsstufe als Fe O in dem theilweise reducirten Erze nachweist, beide Oxydationsstufen selbständig neben einander vorhanden sind.[3] Die bekannte Eigenschaft des Eisenoxyduls, an der Luft sich höher zu oxydiren, erschwert natürlich ausserordentlich die Nachweisung desselben in theilweise reducirten Erzen. Verschiedene Umstände aber legen den Schluss nahe, dass die Reduction des Oxydes zu Oxydul leichter von Statten geht als diejenige des Oxyduls zu metallischem Eisen. Sowohl der Umstand, dass schon in verhältnissmässig niedrigen Temperaturen dem Eisenoxyd ein nicht unbeträchtlicher Theil seines Sauerstoffgehaltes entzogen werden kann, während metallisches Eisen erst in höherer Temperatur zu entstehen pflegt, als auch die stärkere Wärmeentwickelung, welche durch die gleiche Menge Sauerstoff hervorgerufen wird, je nachdem das metallische Eisen zu Oxydul oder dieses zu Oxyd verbrennt (S. 22), deuten hierauf hin.

Eine eigenthümliche Erscheinung zeigt sich, wenn Kohlenoxyd in niedrigeren Temperaturen — vorwiegend in den Temperaturen zwischen 300 und 400° C. — auf Eisenoxyd (Erze oder künstlich dargestellte Oxyde) einwirkt. Das Kohlenoxyd zerfällt unter Abscheidung von Kohlenstoff, welcher sich als schwarzes Pulver ablagert:

$$2\,CO = C + CO_2.$$

1) Dokumente, betreffend den Hochofen, S. 62.

2) Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben etc., Bd. XXI, S. 194.

3) Auch Scheerer sprach in seinem Lehrbuche der Metallurgie (Braunschweig 1853) Bd. II, S. 15 die Ansicht aus, dass bei der Reduction alles Oxyd zunächst in Oxydul umgewandelt werde; Schinz u. A. bekämpften dieselbe auf Grund des Umstandes, dass neben metallischem Eisen auch Eisenoxyd gefunden wurde.

Verwendet man zu einem solchen Versuche Erze in Stücken, so schwellen dieselben gewöhnlich auf, bersten und zerfallen zu Pulver, welches mit dem abgelagerten Kohlenstoff gemischt bleibt; dieser Vorgang aber hört nicht etwa auf, sobald ein gewisses Verhältniss zwischen Eisen und Kohlenstoff erreicht ist, sondern, so lange frisches Kohlenoxyd zugeleitet wird, dauert, so weit die bis jetzt angestellten Untersuchungen schliessen lassen, die Kohlenstoffausscheidung ununterbrochen fort, ja, sie nimmt mit der Zeit an Geschwindigkeit zu. Auf einem Stück Rotheisenerz, welches von mir in dieser Weise behandelt wurde, hatte sich in einem Zeitraume von 41 Stunden die fünffache Menge des Erzgewichtes an Kohlenstoff abgelagert; Wägungen, welche innerhalb bestimmter Zeiträume angestellt wurden, ergaben u. a., dass die Ablagerung per Stunde betrug:

in den ersten 6 Stunden wegen allzu niedriger Temperatur Null Proc.
in der 6—11. Stunde durchschnittlich . . . . 1.6 „
„ „ 11—16. „ „ . . . . 3.2 „
„ „ 16—20. „ „ . . . . 4.2 „
„ „ 20—24. „ „ . . . . 4.5 „
„ „ 24—28. „ „ . . . . 7.2 „
u. s. f.[1])

Die ersten Beobachtungen in dieser Beziehung wurden 1851 durch Stammer gemacht, welcher fand, dass beim Hinüberleiten von Kohlenoxyd über glühendes Eisen sich eine sammetschwarze Masse auf demselben abschied[2]); später, nachdem L. Bell die erwähnte Einwirkung der Eisenerze auf Kohlenoxyd beobachtet und verschiedentlich studirt hatte[2]), wies Gruner nach[2]), dass auf metallischem Eisen, wie es von Stammer benutzt wurde, nur dann diese Kohlenstoffausscheidung vor sich geht, wenn es wenigstens eine Spur von oxydirtem Eisen enthält, ein Fall, der allerdings fast regelmässig vorkommt.

In Eisenhochöfen findet man mitunter an Stellen, wo sich Gelegenheit für eine ruhige, länger ausgedehnte Einwirkung von kohlenoxydhaltenden Gasen auf Eisenoxyd geboten hatte, Kohlenstoffablagerungen, in denen nur wenige Procente Eisen sich finden, ein Beweis dafür, dass der Process, sobald er einmal angefangen hat, so lange fortdauert, als die äusseren Bedingungen dafür gegeben sind.[3])

Wie erwähnt ist die günstigste Temperatur für die beschriebene Zersetzung des Kohlenoxydes 300—400 Grad; unter 300 Grad ist die Einwirkung ausserordentlich gering oder gleich Null; in höheren Temperaturen tritt unter Einwirkung des Kohlenoxydes stärkere Reduction des oxydirten Eisens ein, während die Kohlenstoffablagerung entsprechend nachlässt. Stammer's oben erwähnte Versuche sowie Beobachtungen in der Praxis lassen jedoch schliessen, dass unter besonders günstigen Verhältnissen (wozu vor Allem ein reichliches Verhältniss des Kohlenoxydes im Gasstrome zu der entstehenden Kohlensäure ge-

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 278.
2) Vergl. Literatur.
3) In einer von mir untersuchten derartigen Kohlenstoffablagerung fanden sich nur noch 2.99 Proc. Eisen.

hören dürfte), auch noch in Rothgluth Kohlenstoffablagerung stattfinden kann.

Gruner glaubt durch Versuche gefunden zu haben, dass der Process überhaupt nur möglich sei, wenn gleichzeitig metallisches und oxydirtes Eisen vorhanden sind. Verschiedene Umstände jedoch lassen diese Theorie als mindestens zweifelhaft erscheinen, vor allen die oben berührte Thatsache, dass in der Temperatur zwischen 300 und 400° C. zwar Eisenoxyd zu Oxydul, dieses aber kaum zu metallischem Eisen reducirt wird.

Nach Bell hört die Kohlenstoffablagerung auf, wenn das Volumen der Kohlensäure im Gasstrome halb so gross ist als das des Kohlenoxydes. Da jedoch Kohlensäure auf feste Kohle um so stärker oxydirend einwirkt, je höher die Temperatur ist, so dürfte auch jene Grenze des zulässigen Kohlensäuregehaltes von der Temperatur abhängig sein und um so tiefer liegen, in je höherer Temperatur der Process vor sich geht.

Eine allseitig befriedigende Erklärung des beschriebenen wunderbaren Vorganges ist bis jetzt nicht gefunden worden. Gruner glaubt auf Grund der angestellten Versuche eine abwechselnde Reduction und Oxydation annehmen zu sollen, welche er durch die Formeln

$$3FeO + CO = Fe_3O_4 + C \text{ (an Eisen gebunden)}$$
$$Fe_3O_4 + CO = 3FeO + CO_2$$

darstellt. Dass jedoch derselbe Gasstrom abwechselnd das Eisenoxydul oxydiren und das Oxyduloxyd reduciren sollte, ist wenig wahrscheinlich; auch jene Vereinigung zwischen Eisen und Kohle, durch deren Entstehung allenfalls die Wechselwirkung erklärt werden könnte, hat um so weniger Wahrscheinlichkeit für sich, da, wie erwähnt, die Kohlenstoffausscheidung von der Menge des anwesenden Eisens durchaus unabhängig ist.

Für die Praxis ist der besprochene Vorgang nicht ohne Bedeutung. Es möge hier vorläufig nur an den einen Umstand erinnert werden, dass die Einwirkung des Kohlenoxydes sich auch auf eisenhaltige Zustellungsmaterialien der Oefen erstreckt, welche in der erwähnten Temperatur dem Gase ausgesetzt sind. In den Fugen des Gemäuers, in den Poren des Steines, überall, wo sich kleine Mengen oxydirten Eisens befanden und von dem Gase getroffen wurden, setzt sich Kohlenstoff ab, häuft sich mehr und mehr an, durch den Zersetzungsprocess wird der Zusammenhang der Steine gelockert, sie werden mürbe, zerfallen wohl gar theilweise und vermögen schliesslich ihren Zweck nicht mehr zu erfüllen.

Reduction durch Wasserstoffgas. Dieselbe spielt neben der Reduction durch Kohle und Kohlenoxyd eine gewisse, wenn auch nicht sehr hervorragende, Rolle und verdient immerhin einige Beachtung. Wir verdanken die Kenntniss des Einflusses von Wasserstoff auf Eisenoxyde und der Beeinflussung dieses Einflusses durch Temperatur und Anwesenheit anderer Körper wiederum zum grössten Theile dem mehrfach genannten englischen Eisenwerksbesitzer Lowthian Bell.

Derselbe fand [1])

1. dass die reducirende Einwirkung des Wasserstoffes auf Eisenoxyde annähernd in der nämlichen Temperatur beginnt als diejenige des Kohlenoxydes (ca. 200° C.);

2. dass in hoher Temperatur (angehender Weissgluth) das Maass der durch Wasserstoff ausgeübten Reduction der Eisenoxyde sich in noch stärkerem Maasse steigert als es bei der Reduction durch Kohlenoxyd der Fall ist. Durch ein Gasgemisch, welches aus 88.2 Volumtheilen Kohlenoxyd, 10.6 Volumtheilen Wasserstoff, 1.2 Volumtheilen Stickstoff bestand, wurden den Erzen in den verschiedenen Temperaturen folgende Sauerstoffmengen entzogen: [2])

	in Zinkschmelzhitze	in heller Rothgluth	in beginnender Weissgluth
durch Wasserstoff . . .	0.89	0.83	3.5
„ Kohlenoxyd . . .	6.91	11.17	12.4.

3. dass Wasserstoff, in Zinkschmelzhitze über Kalkstein geleitet, die Kohlensäure desselben unter reichlicher Reduction zu Kohlenoxyd vollständig austreibt.

4. Eisen und Kohlenstoff.

Aufnahme des Kohlenstoffs durch Eisen.

Das Bestreben des Eisens, sich mit Kohlenstoff zu legiren, ist so stark, dass es kaum möglich ist, Eisen durch Kohle oder kohlenstoffhaltige Gase zu reduciren, ohne dass wenigstens kleine Mengen Kohle dabei von dem Eisen aufgenommen würden. Alles Handelseisen ist daher kohlenstoffhaltig, obgleich bei einigen Sorten schmiedbaren Eisens die Menge des Kohlenstoffgehaltes noch nicht 0.1 Proc. erreicht.

Schon durch einfache Erhitzung des Eisens mit Kohle oder kohlehaltigen festen Körpern bis zur Rothgluth geht Kohlenstoff an das Eisen über, sofern der Kohlenstoffgehalt des letzteren ein von der herrschenden Temperatur abhängiges Maass noch nicht erreicht hatte, und vertheilt sich von der Berührungsstelle aus durch Molekularwanderung annähernd gleichmässig durch das ganze Eisenstück hindurch. Es ist dieses ein Vorgang, auf welchem die in der dritten Abtheilung ausführlicher besprochene Darstellung des Cementstahles beruht.

Dass Kohlenoxyd bei anhaltender Einwirkung auf Eisen in Glühhitze Kohlenstoff auf demselben ablagern könne (nach Gruner nur bei Anwesenheit kleiner Mengen oxydirten Eisens), wurde schon auf S. 230 erwähnt; dass in diesem Falle der abgelagerte Kohlenstoff sich theilweise auch mit dem Eisen legiren werde, und dass wenigstens mittelbar auf diese Weise eine Kohlung des letzteren durch das Kohlenoxyd stattfindet, folgt aus dem, was soeben über die Fähigkeit des Eisens, festen Kohlenstoff aufzunehmen, gesagt wurde, von selbst. Der Umstand, dass alles durch Kohlenoxyd reducirte Eisen kohlenstoffhaltig ist,

1) Ueber Entwickelung und Verwendung von Wärme, deutsch von Tunner, S. 102, 107, 108.

2) Durch Analyse der Oxydationsgase ermittelt.

lässt sich jedenfalls auf diesen Vorgang zurückführen. Ob eine unmittelbare Einwirkung des Kohlenoxydes auf das Eisen ohne vorausgehende Ablagerung festen Kohlenstoffs stattfinden könne, ist mindestens zweifelhaft; und jedenfalls ist dieselbe, wie sich aus Versuchen von Percy ergiebt[1]), sehr unbedeutend.

Dagegen entzieht das Eisen Kohlenwasserstoffen mit grosser Leichtigkeit einen Theil ihres Kohlenstoffgehaltes. Leuchtgas, Petroleumdampf und andere kohlenwasserstoffreiche Gase erhöhen, wenn sie in Rothgluth auf kohlenstoffarmes Eisen (Schmiedeeisen) einwirken, den Kohlenstoffgehalt desselben beträchtlich. Sogar Wasserstoff, welcher durch glühende Holzkohlen geleitet wurde, vermochte bei mehreren von Percy angestellten Versuchen[2]) kohlend auf Eisen zu wirken, sei es, dass unter der Berührung des Gases mit den Kohlen Kohlenwasserstoff gebildet wurde oder dass die in den Kohlen gewöhnlich absorbirten Kohlenwasserstoffe durch das Hindurchleiten einfach ausgetrieben wurden.

Auch Cyangas wirkt kräftig kohlend auf das Eisen; dass verschiedene Cyanmetalle, insbesondere Cyankalium und Cyannatrium die gleiche Wirkung äussern, ist mehr als wahrscheinlich. Blutlaugensalz wird im Kleinbetriebe nicht selten benutzt, um durch Glühen mit Eisen den Kohlenstoff des letzteren anzureichern.

Maximal-Kohlenstoffgehalt des Eisens.

Trotz der geschilderten starken chemischen Verwandtschaft des Eisens zum Kohlenstoff ist die Menge des letzteren, welche vom Eisen aufgenommen werden kann, beschränkt. Aus Versuchen von Percy[3]) geht hervor, dass reines Eisen beim Zusammenschmelzen mit Kohlenstoff höchstens 4.6 Proc. desselben aufzunehmen vermag, während in den meisten Fällen der Kohlenstoffgehalt des übrigens reinen Eisens 4 Proc. nicht erheblich übersteigt.

Fremde Körper, welche neben Kohlenstoff mit dem Eisen legirt sind, beeinflussen jedoch dessen Fähigkeit, Kohlenstoff aufzunehmen.

Mangan befördert die Kohlenstoffaufnahme. Eisenmanganlegirungen mit 10—20 Proc. Mangan können, sofern sonstige Körper, welche den entgegengesetzten Einfluss ausüben, nicht zugegen sind, ca. 5 Proc. Kohle oder etwas darüber enthalten; bei 35 Proc. Mangan kann der Kohlenstoffgehalt 5.5 Proc. betragen; bei 50 Proc. Mangan 6 Proc. Kohle, bei 65 Proc. Mangan 6.5 Proc. Kohle, bei 80 Proc. Mangan, 7 Proc. Kohle, bei 90 Proc. Mangan, 7.3 Proc. Kohle (so dass die zuletzt erwähnte Legirung nur etwa 2.7 Proc. Eisen enthalten kann).

Beeinträchtigt wird die Legirungsfähigkeit des Eisens mit Kohlenstoff durch die Anwesenheit von Silicium, Schwefel; weniger deutlich wirkt Phosphor. Die Folge davon ist also, dass silicium- oder schwefelhaltiges Eisen niemals soviel Kohlenstoff enthält, als jenen Ziffern für den Maximalgehalt im reinen Eisen beziehentlich Eisenmangan entspricht. Annähernd, doch nicht genau, ersetzen sich diese Körper gegenseitig im Verhältnisse ihrer

---

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung 1, S. 135.
2) Im angeführten Werke, S. 137—140.
3) Ebenda, S. 147.

Atomgewichte, so dass 1 Thl. Silicium $^3/_7$ Thl. Kohle, 1 Thl. Schwefel $^3/_8$ Thl. Kohle ersetzt. Eisen mit 2 Proc. Silicium und frei von Mangan enthält kaum jemals mehr als 3.8 Proc. Kohle; Eisenmangan mit 50 Proc. Mangan und 2 Proc. Silicium wird nicht erheblich über 5 Proc. Kohle enthalten. Falsch aber würde der Schluss sein, dass Eisensorten mit mehr als 11 Proc. Silicium nunmehr ganz kohlenstofffrei sein müssten, da dieser Siliciumgehalt, den Verhältnissen der Atomgewichte gemäss, jenen Gehalt von 4.6 Proc. Kohle vollständig ersetzen könnte, welcher oben als Maximalgehalt im übrigens reinen Eisen bezeichnet wurde. Man findet auch neben dem angegebenen Siliciumgehalte gewöhnlich noch etwas über 1 Proc. Kohlenstoff.

Aus Versuchen, welche im Kleinen früher von Karsten[1]), später in Percy's[2]) Laboratorium angestellt wurden, geht zweifellos hervor, dass, wenn Schwefel von Eisen aufgenommen wird, welches seinen Maximalgehalt an Kohlenstoff besitzt, ein Theil dieses letzteren als fester Körper ausscheidet. Technisch dargestellte Eisensorten enthalten jedoch nur selten so beträchtliche Mengen von Schwefel, dass eine derartige Einwirkung desselben merkbar hervortreten kann.

Graphitbildung im Eisen.

Unter gewissen Verhältnissen zerfällt kohlenstoffhaltiges Eisen beim Erstarren und noch während des Abkühlens bis auf dunkle Rothgluth ganz oder theilweise, und es scheidet sich Kohlenstoff mit allen Kennzeichen des Graphits aus, welcher in hexagonalen Blättchen von mikroskopischer Grösse bis zu mehreren Millimetern Durchmesser sich zwischen das Gefüge des Eisens in annähernd gleichmässiger Vertheilung einlagert. Wird das graphithaltige Eisen wieder zum Schmelzen erhitzt, so wird der Graphit abermals vom Eisen gelöst, und das flüssige Eisen enthält keinen Graphit.

Den Beweis für diese Abwesenheit des Graphits im flüssigen Eisen erhält man u. a. leicht aus der erwähnten Thatsache, dass der Graphit im erkalteten Eisen annähernd gleichmässig vertheilt ist. Bei dem erheblich geringeren specifischen Gewichte des Graphits (2.3, während das specifische Gewicht des Eisens ca. 7.5 beträgt) würde derselbe im flüssigen Eisen emporsteigen und sich vollständig an der Oberfläche sammeln. Eine derartige Erscheinung tritt allerdings dann ein, wenn das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff durch Aufnahme von Silicium abgemindert wurde, nachdem es bereits seinen, dem siliciumfreien Zustande entsprechenden Maximalgehalt an Kohlenstoff aufgenommen hatte; ein entsprechender Theil des Kohlenstoffes scheidet aus dem flüssigen Eisen aus und schwimmt auf der Oberfläche. Diesen Graphit aber, welcher als eine wirkliche Ausscheidung aus dem Eisen, nicht mehr als ein Bestandtheil desselben zu betrachten ist, pflegt man in den Eisengiessereien, wo die Entstehung desselben die Herstellung fehlerfreier Güsse benachtheiligt, als Gaarschaum zu bezeichnen.

---

1) Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3. Auflage (1841), Bd. I, S. 427.
2) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 173.

Die Ursachen, welche Graphitausscheidung hervorrufen, sind zunächst ein Siliciumgehalt des Eisens neben Kohle; ausserdem Verzögerung der Abkühlung.

Geringere Mengen Silicium können neben kleineren Mengen Kohlenstoff im Eisen anwesend sein, ohne dass Graphitbildung beim Erstarren bemerkbar wird; geht aber der Gehalt beider Körper über ein gewisses Maass hinaus, so wird durch den Siliciumgehalt die Fähigkeit des erkaltenden Eisens, Kohlenstoff legirt zu behalten, abgeschwächt, und das erwähnte Zerfallen tritt ein. Der Vorgang ist dem Zerfallen erkaltender anderer Legirungen (z. B. der Bronzen) ganz ähnlich. Aus dem Umstande aber, dass jenes Zerfallen der Eisenkohlenstofflegirung erst möglich wird, wenn ein gewisses Maass des Gehaltes an Kohle, beziehentlich an Kohle neben Silicium überschritten ist, erklärt es sich, dass diese Graphitbildung vorzugsweise bemerkbar in gewissen Roheisensorten (im grauen Roheisen, vergl. S. 5) auftritt und im schmiedbaren Eisen fast gänzlich verschwindet. Das kohlenstoffarme Schmiedeeisen zeigt nie eine Spur von Graphit.

Diejenige Kohle, welche beim Erstarren und Abkühlen nicht aus ihrer Legirung mit dem Eisen ausscheidet, bezeichnet man als gebundene Kohle.

Aus dem soeben besprochenen Einflusse des Siliciumgehaltes auf die Graphitbildung folgt, dass, sobald jene Grenze, bis zu welcher Kohle und Silicium nebeneinander auftreten können, ohne dass Graphitbildung eintritt, überschritten ist, letztere um so vollständiger sein wird, je mehr Silicium neben dem Kohlenstoff anwesend ist. Anderntheils aber verringert sich mit zunehmendem Siliciumgehalte der Gesammtkohlenstoffgehalt, wie oben erwähnt wurde; daher kann auch der gesammte Graphitgehalt in einem Eisen, welches einen Ueberschuss an Silicium enthält, nicht so bedeutend sein als in einem solchen, welches eben nur jene, zur Graphitbildung in einem mit Kohle gesättigten Eisen erforderliche Menge Silicium enthält.

Wie hoch jener Gehalt des Eisens an Kohle und Silicium sein kann, ohne dass Graphitbildung eintritt; oder welcher Siliciumgehalt in jedem einzelnen Falle erforderlich ist, um den anwesenden Kohlenstoffgehalt zur Umwandlung in Graphit beim Erstarren zu zwingen, lässt sich genau nicht angeben, da hierbei, wie sogleich besprochen werden soll, die Anwesenheit anderer Körper einerseits, sowie die Abkühlungsverhältnisse andererseits von Einfluss sind. In einem übrigens reinen Eisen, welches 4 Proc. Kohlenstoff enthält, ist gewöhnlich nur eine geringe Menge Silicium erforderlich, um einen Theil jenes Kohlenstoffs zur Ausscheidung zu bringen; enthält das Eisen nur 1 Proc. oder noch weniger Kohlenstoff, so können mehrere Procente Silicium neben letzterem anwesend sein, ohne dass Graphitbildung erkennbar wird.

Mangan und Schwefel erschweren die Graphitbildung. Je grössere Mengen dieser Körper neben Kohlenstoff zugegen sind, desto mehr Silicium kann zugleich anwesend sein, ohne dass Graphitbildung eintritt. Es darf hierbei nicht ausser Acht gelassen werden, dass Mangan zugleich den Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff erhöht, Schwefel ihn verringert. Eine Eisenmanganlegirung mit 10 Proc. Mangan und 5 Proc. Kohle kann schon einige Zehntel Proc. Silicium enthalten,

ohne dass Graphitbildung merkbar wird; bei 60 Proc. Mangan können neben 5 Proc. Kohle mehr als 2.5 Proc. Silicium zugegen sein, ohne Graphitbildung zu veranlassen.

Versuche, in Percy's Laboratorium über die Einwirkung des Schwefels auf graphithaltiges Eisen angestellt, ergaben u. a.:

dass ein graphithaltiges Eisen mit 3.8 Proc. Kohle durch Zusatz von Schwefel, dessen Menge in dem erstarrten Eisen 2.1 Proc. betrug, seinen Kohlenstoffgehalt auf 3.17 Proc. verringerte und ohne Graphitausscheidung erstarrte;

ein graphithaltiges Eisen mit 4.39 Proc. Kohle unter Zusatz von Schwefel (im erstarrten Eisen 0.72 Proc.) sich in graphitarmes Eisen umwandelte, wobei die Abnahme des Kohlenstoffgehaltes nicht ermittelt wurde. [1])

Leider war bei diesen Versuchen der anwesende Siliciumgehalt nicht ermittelt.

Aehnlich wie Mangan und Schwefel wirkt praktischen Beobachtungen zufolge Phosphor auf die Graphitausscheidung; d. h. dieselbe wird durch die Anwesenheit von Phosphor erschwert. Der Einfluss des Phosphors ist jedoch weit unerheblicher als der jener Körper.

Von Wichtigkeit sind die Einwirkungen, welche die Abkühlungsverhältnisse auf die Graphitbildung ausüben. Langsame Abkühlung des erstarrenden mit Kohlenstoff gesättigten Eisens befördert die Graphitbildung, rasche Abkühlung erschwert sie.

Ein und dasselbe Eisen kann daher verschiedenen Graphitgehalt zeigen, je nachdem es langsam oder rasch abgekühlt wurde; ja, in verschiedenen Querschnitten eines und desselben Eisenstückes pflegt der Graphitgehalt verschieden zu sein, an den Rändern und in dünneren Querschnitten, wo die Abkühlung rascher vor sich ging, schwächer als in stärkeren Querschnitten und in der Mitte.

Es verdient Erwähnung, dass der Gesammtkohlenstoffgehalt des Eisens (Graphit und gebundene Kohle zusammen) sich gewöhnlich umgekehrt verhält als der Graphit allein; er pflegt in den rascher erstarrenden Querschnitten grösser als in den langsamer erstarrenden zu sein, während in den letzteren der Siliciumgehalt sich anhäuft. So z. B. fand ich in einem gegossenen Panzerstücke für Küstenbefestigung [2]):

	am Rande	in der Mitte
Gesammtkohlenstoff . .	3.31	3.03
Silicium	0.26	0.70
Mangan	1.03	1.08

und in einem gusseisernen Laufrade

	am Rande	in der Mitte
Gesammtkohlenstoff . .	3.27	3.06
Silicium	0.91	1.06
Mangan	1.64	1.01.

Auch Karsten machte schon die gleiche Beobachtung.

Durch sehr rasche Abkühlung, z. B. durch Eingiessen des flüssigen Eisens in metallene Formen, ist man im Stande, bei manchen Eisen-

---

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 175 u. 176.
2) Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 279.

sorten, welche bei langsamer Abkühlung Graphit in beträchtlichen Mengen ausscheiden würden, die Graphitausscheidung vollständig zu hintertreiben. Dickere Stücke von solchem Eisen, welche vom Rande her oder an bestimmten Stellen rasch abgekühlt wurden, in der Mitte oder an anderen Stellen dagegen langsamer erkalteten, zeigen an den ersteren Stellen keine Graphitausscheidung (weisses Roheisen), während an den letzteren oft fast vollständige Umwandlung des gebundenen Kohlenstoffes an Graphit stattgefunden hat (Umwandlung in graues Roheisen). Auf diesem Vorgange beruht die Herstellung des Hartgusses, d. h. gusseiserner Gebrauchsgegenstände, welche an einzelnen Stellen aus weissem, an anderen aus grauem Roheisen bestehen.

Durch anhaltendes Glühen bei Abschluss der Luft und allmälige Abkühlung solchen Eisens, dessen Graphitausscheidung durch rasche Wärmeentziehung beeinträchtigt worden war, lässt sich der Graphitgehalt desselben anreichern. Roheisen, welches durch rasche Abkühlung weiss geworden war, lässt sich in graues Roheisen durch das erwähnte Mittel umwandeln. Hierin liegt ein fernerer Beweis für die oben aufgestellte Behauptung, dass die Graphitbildung erst in den Temperaturen vom Erstarrungspunkte an abwärts stattfindet.

Ausdrücklich muss jedoch erwähnt werden, dass solche Eisensorten, welche mit Kohlenstoff und Silicium nebeneinander gewissermaassen übersättigt sind, auch bei raschester Abkühlung niemals verhindert werden können, einen Theil ihres Kohlenstoffes als Graphit auszuscheiden; immerhin ist aber auch bei diesen Eisensorten das Maass der Graphitbildung bei rascher Abkühlung geringer als bei langsamer.

Ob jedoch ein mit Kohlenstoff zwar vollständig gesättigtes, aber siliciumfreies Eisen, welches wegen der Abwesenheit von Silicium bei gewöhnlicher Abkühlung ohne Graphitbildung erstarren würde, durch anhaltendes Glühen und langsame Abkühlung ebenfalls zur Graphitbildung gezwungen werden kann, sofern nicht bei dem Glühen selbst auch sonstige chemische Einwirkungen (Aufnahme von Silicium [1])) stattfinden, ist mit vollständiger Sicherheit kaum nachgewiesen worden. Jedenfalls ist ein sehr lange fortgesetztes Glühen dazu erforderlich.

Sonstige Formen des Kohlenstoffs im Eisen.

Ausser der gebundenen Kohle, welche in wirklicher Legirung mit dem Eisen sich befindet, und dem Graphit, welcher infolge eines Zerfallens der Eisenkohlenstofflegirung als selbständiger Körper aus dieser sich ausscheidet, hat man mitunter Kohlenstoff nachgewiesen, der chemisch ein noch anderes Verhalten als jene beiden Formen zeigt.

Caron fand, dass, wenn man Stahl, welcher zuvor geglüht worden war, in Säuren löst, hierbei ein schwarzer Rückstand bleibt, welcher vorwiegend aus Kohlenstoff besteht, aber zugleich gewisse Mengen Eisen und unter Umständen Kieselsäure enthält; unterwirft man denselben Stahl aber einem Härtungsprocesse durch Ablöschen in kaltem Wasser,

1) Silicium kann unter Umständen schon beim Glühen des Eisens mit Kohle und kieselsäurehaltigen Körpern reducirt und vom Eisen aufgenommen werden.

nachdem er auf Rothgluth erhitzt worden war, so hinterlässt er beim Auflösen keinen Rückstand, sondern der gesammte Kohlenstoff verflüchtigt sich als übelriechendes Kohlenwasserstoffgas. Auch durch andauerndes Hämmern des glühenden Stahles lässt sich die Menge des beim Auflösen hinterbleibenden Rückstandes abmindern.[1])

Später machte Rinman die gleiche Beobachtung[2]), deren Richtigkeit sich übrigens sehr leicht prüfen lässt und später auch noch durch verschiedene andere Forscher bestätigt wurde. Nach Rinman's Versuchen löst sich die Kohle des nicht gehärteten Stahles auch dann vollständig, wenn man ihn sofort mit heissen Säuren behandelt; in kalten Säuren dagegen bleibt ein Rückstand, der sich nun auch beim späteren Erhitzen nicht mehr auflöst. Als Graphit kann dieser kohlenstoffreiche Rückstand nicht betrachtet werden, da Graphit sich weder in kalter, noch in heisser Säure löst. Auch beim Auflösen ungehärteten Stahles in Salpetersäure hinterbleibt nach Woodcock[3]) ein ähnlicher Rückstand, der sich abfiltriren und trocknen lässt, beim Berühren mit einem glühenden Drahte aber wie Schiesspulver verpufft.

Es ist zweifellos, dass hier eine besondere Form des Kohlenstoffs oder — was noch wahrscheinlicher ist — eine Eisenkohlenstofflegirung vorliegt, welche in dem langsam abkühlenden Stahle sich von der grösseren Menge des kohlenstoffärmeren Stahles sondert, wie sich in den Bronzen zinnreichere Legirungen bei langsamer Abkühlung von kupferreicheren sondern. Bei rascher Abkühlung unter jene Temperatur, oberhalb welcher das Eisen gleichmässig von der Kohle durchdrungen ist (ca. 500° C.), verharren dagegen beide Körper in gleichmässiger Legirung, ein Verhalten, welches sich ebenfalls bei der Bronze beobachten lässt. Da diese Kohle in vorzugsweise grossen Mengen im unbearbeiteten Cementstahle gefunden wird, jener Stahlgattung, welche durch wochenlang fortgesetztes Glühen kohlenstoffärmeren Eisens mit Holzkohle dargestellt wird, so nannte Rinman dieselbe Cementkohle. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich auch in vielen langsam abgekühlten Roheisensorten das gleiche Vorkommniss durch sorgfältige Untersuchung nachweisen lassen würde.

Eine ähnliche Form des Kohlenstoffes beobachtete F. C. E. Müller im Bessemerstahl.[4]) Beim Auflösen desselben in Salzsäure und Behandeln des hierbei zurückbleibenden schwarzen Rückstandes mit heisser Salpetersäure erhielt er als letzten Rückstand einen Körper, dessen Zusammensetzung annähernd der Formel $Fe\,C_8$ entsprach, also ebenfalls aus einer kohlenstoffreicheren Eisenlegirung bestehen dürfte, welche sich beim Erstarren und Abkühlen von dem übrigen Stahl sonderte.

Den sämmtlichen nichtgraphitischen Kohlenstoff, also die gebundene Kohle (S. 235) und die Cementkohle zusammen, pflegt man als amorphen Kohlenstoff zu bezeichnen.

1) Comptes rendus, tome LVI, p. 43.
2) Erdmann's Journal für praktische Chemie, Bd. 100, S. 33.
3) Glaser's Annalen, Bd. X, S. 270.
4) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing., Bd. XXII, S. 456.

Einflüsse des Kohlenstoffgehaltes auf die Eigenschaften des Eisens.

Der Graphit als selbständig ausgeschiedener Körper hat selbstverständlich eine unmittelbare Einwirkung auf die Eigenschaften des Eisens nicht mehr; mittelbar aber beeinflusst er dieselben in mehrfacher Weise. Indem er in dünnen Blättchen sich zwischen das Gefüge des Eisens lagert, unterbricht er den vollständigen Zusammenhang und das Eisen verliert dadurch an Festigkeit; indem aber Graphit überhaupt gebildet wird, verringert sich natürlicherweise die Menge des in gebundener Form zurückbleibenden Kohlenstoffes, und demzufolge ändern sich auch in entsprechender Weise die Eigenschaften des Eisens.

Aehnlich wie der Graphit verhalten sich die übrigen oben erwähnten, unter bestimmten Verhältnissen aus der grösseren Menge des Eisens sich aussondernden (aussaigernden) kohlenstoffreicheren Eisenkohlenstofflegirungen (Rinman's Cementkohle u. s. w.). Sie bleiben als abweichend zusammengesetzte Körper dem Eisen beigemengt; aber der in letzterem zurückbleibende Gehalt an gebundener Kohle wird durch das Ausscheiden jener verringert und die Eigenschaften werden andere, als wenn der gesammte Kohlenstoffgehalt in gebundener Form im Eisen verbleibt.

Da nun auf die Entstehung des Graphits sowohl als jener übrigen Formen des Kohlenstoffs die Abkühlungsverhältnisse von grossem Einflusse sind, so erklärt es sich, dass die Eigenschaften eines und desselben Eisens erhebliche Abweichungen zeigen können, je nachdem rasche oder langsame Abkühlung des glühenden Eisens stattfand. Auch starke oder wenig starke Ueberhitzung geschmolzenen Eisens vor dem Erstarren kann Verschiedenheiten in dieser Beziehung hervorrufen.

Die Festigkeit des Eisens wird durch einen Gehalt an gebundener Kohle im Verhältnisse ihrer Menge gesteigert, und erreicht im übrigens reinen Eisen ihr höchstes Maass, wenn der Kohlenstoffgehalt etwa 1 Proc. oder weniger darüber beträgt; bei weiterer Zunahme des Kohlenstoffgehaltes verringert sich die Festigkeit.

Die Elasticität wird durch kleinere Mengen gebundener Kohle gesteigert, erreicht aber ihr Maximum, schon ehe die höchste Festigkeit erreicht ist. Genauere Ermittelungen hierüber fehlen, da gerade diese Eigenschaft durch die vorausgehende Bearbeitung ausserordentlich beeinflusst wird.

Mit der Festigkeit, aber noch rascher als diese, steigert sich die Elasticitätsgrenze des kalten Eisens; die Folge davon ist, dass die Zähigkeit, deren Maass zum grossen Theile von der Differenz zwischen Elasticitätsgrenze und Festigkeitsmodul abhängig ist, sich verringert.

Eine der Zähigkeit nahe verwandte Eigenschaft ist die Dehnbarkeit, d. h. die Eigenschaft, bleibende Formveränderungen zu ertragen; auch sie mindert sich mit zunehmendem Kohlenstoffgehalte. Beim Erhitzen des Eisens zum Glühen aber verliert dasselbe um so rascher an Festigkeit, je kohlenstoffreicher es ist; und die Folge davon ist eine entsprechende Abminderung der Schmiedbarkeit.

Die Härte des Eisens wird durch einen gebundenen Kohlenstoffgehalt gesteigert, bis derselbe etwa 2 Proc. beträgt; bei weiterer Zunahme scheint sich die Härte etwas zu verringern, bleibt aber immerhin be-

trächtlicher als diejenige der Eisensorten mit weniger als 1 Proc. Kohle. Stahl mit etwa 1—1.5 Proc. Kohlenstoff lässt sich im gehärteten Zustande (in welchem der Kohlenstoffgehalt vollständig gebunden ist) zur Bearbeitung weissen Roheisens mit 3—4 Proc. Kohlenstoff benutzen.

Die Schmelztemperatur des Eisens sinkt mit zunehmendem Kohlenstoffgehalte.

Aus dem Gesagten folgt, dass Eisen, welches Graphit oder Cementkohle enthält, durchschnittlich weniger fest ist als solches, dessen Kohlenstoffgehalt im gebundenen Zustande verharrt und nicht erheblich über 1 Proc. hinausgeht; dass ersteres sich durch geringere Sprödigkeit vor dem letztern auszeichnet; dass die Härte des kohlenstoffhaltigen Eisens durch Ausglühen verringert werden kann. In letzterer Beziehung darf freilich nicht unerwähnt bleiben, dass die Härte des schmiedbaren Eisens wie der schmiedbaren Metalle überhaupt auch durch fortgesetzte Bearbeitung im kalten Zustande erheblich gesteigert werden kann und dass auch diese durch Bearbeitung künstlich erzeugte Härte durch Ausglühen wieder verschwindet. Verringert sich also durch diesen Process die Härte eines Eisens, so kann nur dann auf die Entstehung von Graphit oder Cementkohle geschlossen werden, wenn nicht der vorherige Härtegrad in der erwähnten Weise, d. h. durch Bearbeitung, hervorgerufen worden war.

Da nun Graphit an und für sich unschmelzbar ist, das bei der Graphitbildung zurückbleibende kohlenstoffärmere Eisen aber eine höhere Temperatur zum Schmelzen erfordert, als wenn es an Stelle des Graphits gebundene Kohle enthielte, da ferner für die Wiedervereinigung (Lösung) des Graphits mit dem Eisen immerhin beginnende Schmelzung des letzteren erforderlich sein wird, so erklärt es sich, dass graphithaltiges Eisen eine höhere Schmelztemperatur besitzt als graphitfreies mit dem nämlichen Gesammtkohlenstoffgehalte.

Theorie der Eisenkohlenstofflegirungen.

Ausgehend von der Anschauung, dass, wo eine Vereinigung zweier verschiedener Körper zu einem gleichmässigen Ganzen stattfindet, auch nothwendigerweise eine chemische Verbindung im eigentlichen Sinne, d. h. nach den Verhältnissen der Atomgewichte oder ihrer Vielfachen, vorhanden sein müsse, ist man seit dem Aufblühen der metallurgischen Wissenschaft vielfach bemüht gewesen, solche bestimmte chemische Verbindungen zwischen Eisen und Kohlenstoff aufzufinden und die Eigenschaften des kohlenstoffhaltigen Eisens von der Anwesenheit dieser Verbindungen abzuleiten. Man nannte diese Eisenkohlenstoffverbindungen Carburete, und verschiedene Forscher glaubten verschiedene solcher Carburete gefunden zu haben. Die betreffenden Theorien sind in sämmtlichen älteren Handbüchern der Eisenhüttenkunde mitgetheilt.[1])

---

1) Eine Zusammenstellung derselben findet der Leser in Dürre, Constitution des Roheisens, Leipzig 1868, S. 9—20.

Von allen diesen Theorien erfreute sich allein eine von Tunner aufgestellte einer grösseren Wahrscheinlichkeit. Derselbe nahm an, dass nur ein einziges Carburet, das sogenannte Viertelcarburet Fe_4 C existire, welches in einer Roheisensorte mit ca. 5 Proc. Kohlenstoff, dem durch sein eigenthümliches Gefüge gekennzeichneten Spiegeleisen (vgl. II. Abtheilung) in ziemlich ausgebildeter Form auftrete, während in kohlenstoffärmeren Eisensorten Gemische dieses Viertelcarburets mit freiem Eisen vorlägen.

Auch die Tunner'sche Theorie ist jedoch vornehmlich durch den Umstand hinfällig geworden, dass man neuerdings Eisenmanganlegirungen darstellt, deren Kohlenstoffgehalt erheblich über denjenigen des vermutheten Viertelcarburets hinausgeht (vergl. S. 233).

Man vergass offenbar bei jenem ängstlichen Forschen nach wirklichen chemischen Verbindungen zwischen Eisen und Kohlenstoff, dass, wie schon auf S. 217 erwähnt wurde, zahlreiche andere Körper sich ganz ebenso verhalten, d. h. sich in einander lösen und im gelösten Zustande mit einander erstarren, ohne dass deshalb immer chemische Verbindungen im engeren Sinne vorhanden zu sein brauchen; ja, dass zahlreiche andere Metalle ein ganz gleiches Verhalten gegenüber Metallen sowohl als Metalloiden (Schwefel, Phosphor, Arsen, Antimon u. a.) zeigen, indem sie mit diesen sich zu „Legirungen" in unbeschränkten Gewichtsverhältnissen vereinigen.

Der oben (S. 218) gegebenen Erklärung des Begriffes „Legirung" gemäss kann man die zwischen Eisen und Kohlenstoff gebildeten Vereinigungen, welche den Hauptbestandtheil fast alles Handelseisens ausmachen, als wirkliche Legirungen beider Körper betrachten, in welchen möglicherweise wirkliche chemische Verbindungen entstehen und unter geänderten Verhältnissen wieder zerfallen können, ohne dass aber ihre Entstehung nothwendig für die Aufnahme des Kohlenstoffs im Eisen ist.

5. Eisen und Silicium.

Reduction des Siliciums.

Obgleich Kieselerde, wenn sie ohne Weiteres der Einwirkung von Kohlenstoff ausgesetzt ist, auch in Weissgluth nicht zu Silicium reducirt wird, so gelingt doch die Reduction leicht, wenn ausser Kohle auch metallisches Eisen zugegen ist, mit welchem das reducirte Silicium im Entstehungszustande sich legiren kann. Sogar beim Glühen der drei Körper ohne Schmelzung wird Silicium vom Eisen aufgenommen.

Schmilzt man kohlenstoffhaltiges Eisen in Gefässen, deren Wände Kieselsäure enthalten, so wird, wie Troost und Hautefeuille nachwiesen, ebenfalls durch einen Theil des Kohlenstoffgehaltes im Eisen Silicium aus den Wänden reducirt und in das Eisen geführt.[1])

An Stelle der Kohle vermag auch ein Mangangehalt des Eisens als Reductionsmittel für Kieselsäure zu dienen, wobei Manganoxydul gebildet und von einem andern Theile der Kieselsäure verschlackt wird:

$$2\,Mn + Si\,O_2 = 2\,Mn\,O + Si.$$ [2])

1) Comptes rendus, tome 76, p. 483.

2) Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Königr. Sachsen a. d. Jahr 1880, S. 7.

Diese Thatsachen deuten auf eine starke Neigung des Eisens hin, Siliciumlegirungen zu bilden. Durch einfaches Zusammenschmelzen von Eisen mit Kohle und Quarzpulver lassen sich solche Legirungen mit mehr als 10 Proc. Silicium darstellen. Auch beim Schmelzen von Eisenoxyd mit Kohle und Quarzpulver werden neben einander Eisen und Silicium reducirt, sofern die ausreichende Menge Kohle zugegen ist, und vereinigen sich zu den erwähnten Legirungen.

Ebenso wird aus kieselsäurehaltigen Schlacken bei dem Schmelzen derselben mit Kohle und Eisen beziehentlich Eisenoxyd leicht Silicium an das Eisen geführt und zwar um so leichter, je weniger basisch die Schlacken sind, je weniger stark demnach ihre chemische Verwandtschaft zur Kieselsäure ist. Aber selbst aus stark basischen Schlacken lässt sich durch gleichzeitige Einwirkung von Kohle und Eisen eine nicht unbeträchtliche Menge Silicium reduciren, sofern eine ausreichend hohe Temperatur dabei angewendet wird; das Vereinigungsbestreben des Eisens zum Silicium wird augenscheinlich durch Erhöhung der Temperatur mehr gesteigert als das der Basen zu der Kieselsäure; und die Menge des reducirten Siliciums steigt mit der Temperatur.

In allen diesen Fällen enthält das erfolgende Eisen neben dem Silicium auch Kohlenstoff, dessen Menge jedoch, wie schon erwähnt wurde, im umgekehrten Verhältnisse zu der Menge des anwesenden Siliciums steht. Durch besondere Kunstgriffe lassen sich indess Siliciumeisenlegirungen auch ohne Kohlenstoff und mit sehr bedeutendem Siliciumgehalte darstellen. Hahn erhielt durch Schmelzen von Eisenchlorür-Chlornatrium mit Kieselfluornatrium und Natrium ein Siliciumeisen mit 30.8 Proc. Silicium; Mrázek erzeugte durch Schmelzen von 100 Thl. weichem Eisendraht, 242 Thl. Quarz, 105 Thl. Flussspath, 62 Thl. Natrium eine Legirung mit 7.4 Proc. Silicium und nur jenen kleinen Mengen Kohlenstoff, welche durch den Draht zugeführt worden waren.[1])

Eigenschaften der Siliciumeisenlegirungen. Flüchtige Verbindungen des Siliciums.

Die Siliciumeisenlegirungen sind weiss und die Bruchfläche der von Mrázek dargestellten Legirung mit 7.4 Proc. Silicium deutete unzweifelhaft auf Krystallisation im tesseralen Systeme. Tritt neben dem Silicium Kohlenstoff auf, welcher beim Erstarren graphitisch ausgeschieden wird, so vermag dieser natürlich die Farbe der eigentlichen Bruchfläche mehr oder minder vollständig zu verdecken.

Die starke Verwandtschaft des Eisens zum Silicium wird durch den früher ausführlicher erörterten Umstand bewiesen, dass durch den Siliciumgehalt nicht nur die Fähigkeit des Eisens, Kohlenstoff aufzunehmen, verringert, sondern auch der aufgenommene Kohlenstoff beim Erstarren graphitisch ausgeschieden, gewissermaassen aus seiner Legirung mit dem Eisen verdrängt wird. Eben diese stark ausgeprägte Neigung

---

1) Die Anwesenheit von Flussspath neben Kieselsäure und Eisen befördert, auch wenn Kohle statt des Natriums als Reductionsmittel benutzt wird, die Reduction des Siliciums. Es entsteht höchstwahrscheinlich Kieselfluorcalcium, welches seinen Siliciumgehalt an das Eisen abgiebt.

beider Körper, sich zu legiren, erklärt es aber auch, dass Silicium in selbständiger Form, wie der Graphit aus dem Eisen auskrystallisirend, nur in sehr seltenen Fällen und auch hier kaum mit vollkommener Gewissheit beobachtet worden ist.

Wohl aber bemerkt man mitunter in Drusenräumen gegossenen siliciumhaltigen Eisens einen aus reiner Kieselsäure bestehenden Ueberzug der Eisenoberfläche, welcher offenbar durch Verbrennung von Silicium entstanden ist.[1] Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieses Silicium nicht im freien Zustande aus dem Eisen austrat, sondern in chemischer Verbindung mit einem zweiten Körper gasförmig die Druse ausfüllte und dann bei Zutritt der Luft oxydirt wurde.[2] Dass thatsächlich mitunter gasförmige Siliciumverbindungen im Eisenhüttenwesen eine Rolle spielen, lässt sich auch aus anderen Vorgängen schliessen. Es möge hier nur u. a. erwähnt werden, dass die Gichtgase des Hochofens bei ihrer Verbrennung einen Beschlag absetzen, welcher zum grossen Theile aus Kieselsäure besteht.

Siliciumwasserstoff wird schon bei Rothgluth zersetzt und kann deshalb hier kaum in Betracht kommen.[3]

Siliciumchlorid und Siliciumfluorid können möglicherweise in einzelnen Fällen gebildet werden, sofern Chlor, beziehentlich Fluor oder leicht zerlegbare Verbindungen derselben mit Kieselsäure und Kohle in höherer Temperatur zusammentreffen, doch dürften diese Fälle nicht gerade häufig sein.

Häufigere Gelegenheit bietet sich zur Entstehung von Siliciumsulfid (Schwefelsilicium), welches nach Frémy's Untersuchungen[4], deren Ergebnisse später durch einige von mir angestellte Versuche[5] bestätigt wurden, sich bildet, wenn Schwefel, Kohlenstoff und Kieselsäure in Weissgluth auf einander wirken, und am einfachsten durch Hinüberleiten von Schwefelkohlenstoffdampf über ein Gemenge von Kohle und Kieselsäure dargestellt wird. Dasselbe ist in hoher Temperatur (Weissgluth) flüchtig und wird, sobald es einmal Gasform angenommen hat, von dem Gasstrome auf weite Entfernungen mitgenommen. An feuchter Luft oxydirt es sich rasch unter Schwefelwasserstoffentwickelung zu Kieselsäure.

Während die Zusammensetzung des von Frémy dargestellten Siliciumsulfides der Formel $Si S_2$ entsprach, fand Alb. Colson[6], dass beim Glühen von Silicium im Schwefelkohlenstoffstrome zwei verschieden zusammengesetzte flüchtige Verbindungen entstehen können, von denen die eine die Zusammensetzung $Si S$ besitzt, während die andere der Formel $Si SO$ entspricht.

---

1) Vergl. u. a. Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 279; ferner Ztschr. d. berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1876, S. 77.

2) Eine andere Erklärung hierfür giebt Rinman, welcher annimmt, dass Silicium aus dem Eisen durch Einwirkung von Wasserdampf oxydirt sei, welcher sich aus feuchten Gussformen entwickelte. Ztschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steierm. und Kärnten 1876, S. 77.

3) Nach Morton wurde beim Hinüberleiten von trockenem Wasserstoffgase über siliciumhaltiges Eisen beim Glühen Siliciumwasserstoff gebildet. Vergl. Literatur.

4) Comptes rendus, Juli 1852, Heft 1.

5) Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 324.

6) Comptes rendus, tome 94, p. 1526.

Möglicherweise spielt auch Stickstoffsilicium, welches nach Wöhler und Deville bei Einwirkung beider Körper auf einander in hoher Temperatur entsteht, durch Glühen im Wasserdampfe aber zerlegt wird [1]), mitunter eine Rolle. Nachgewiesen ist dessen Anwesenheit bei irgend einem Eisenhüttenprocesse noch nicht.

Einflüsse des Siliciumgehaltes auf die Eigenschaften des Eisens.

Dass ein Siliciumgehalt des Eisens den Sättigungsgrad desselben im flüssigen Zustande für Kohlenstoff abmindert und beim Erstarren den im flüssigen Zustande aufgenommenen Kohlenstoff ganz oder theilweise zur Ausscheidung als Graphit veranlasst, wurde bereits mehrfach hervorgehoben und möge hier nur der Vollständigkeit halber nochmals erwähnt werden.

Im Uebrigen sind die Einflüsse, welche durch den Siliciumgehalt auf die physikalischen Eigenschaften des Eisens geübt werden, denen des Kohlenstoffes ähnlich, aber bei gleichen Mengen beider Körper weit weniger kräftig.

Die Festigkeit des Eisens wird durch einen Siliciumgehalt bis zu einer noch nicht genau ermittelten Grenze desselben erhöht; aber die Zähigkeit wird nach Müller durch einen Siliciumgehalt bis zu 0.7 Proc. weniger als durch einen Kohlenstoffgehalt, welcher die gleiche Festigkeitssteigerung hervorruft, verringert. [2]) Dass dieser Einfluss nur in solchen Fällen sich geltend machen kann, wo nicht neben dem Silicium auch Kohlenstoff in solchen Mengen zugegen ist, dass Graphitbildung eintritt, versteht sich von selbst.

Ein Eisen mit 7.4 Proc. Silicium, von Mrázek, wie oben erwähnt, dargestellt, war in der Kälte brüchig, vollständig undehnbar; in Rothgluth aber liess es sich mit Vorsicht, in Weissgluth mit Leichtigkeit schmieden, ein Beweis dafür, dass die Schmiedbarkeit weit weniger durch einen Siliciumgehalt als durch einen Kohlenstoffgehalt leidet.

Ebenso ist der Einfluss des Siliciums auf die Härte des Eisens ein sehr geringer. Müller fand, dass ein Stahl mit 1.5 Proc. Silicium und 0.2 Proc. Kohle weniger hart war, als selbst ein ungehärteter Stahl mit 0.4 Proc. Kohle ohne Silicium; Mrázek bestimmte die Härte des mehrfach erwähnten Siliciumeisens mit 7.4 Proc. Silicium zu 5.5 der mineralogischen Härtescala (zwischen Apatit und Feldspath), diejenige eines Siliciumeisens mit 1.4 Proc. Silicium bei 0.17 Proc. Kohle zu 4.5—5. Beim Ablöschen des glühenden Siliciumeisens in kaltem Wasser, entsprechend dem Verfahren zum Härten des Kohlenstahles, ist keine erhebliche Steigerung der Härte bemerkbar, die Härtungsfähigkeit des Stahles wird also durch den Siliciumgehalt nicht gesteigert. Die Ursachen, welche die Härtungsfähigkeit des Kohlenstahles bedingen, fallen eben hier weg.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Siliciumgehalt erniedrigt; aber auch in dieser Beziehung zeigt sich eine erheblich

---

1) Liebig's Jahresberichte über die Fortschritte der reinen pharmaceutischen und technischen Chemie 1859, S. 154.

2) Glaser's Annalen, Bd. X, S. 210.

geringere Einwirkung als durch Kohlenstoff. Nach Mrázek's Versuchen liegt die Schmelztemperatur jenes Siliciumeisens mit 7.4 Proc. Silicium höher als die eines graphitischen Kohlenstoffeisens mit 5 Proc. Kohlenstoff, aber niedriger als diejenige eines Stahles mit ca. 0.75 Proc. Kohlenstoff (sogenannten mittelharten Stahles).

6. Eisen und Phosphor.

Reduction des Phosphors.

Phosphor findet sich in den Erzen und Zuschlägen wie in der Asche der Brennstoffe als Phosphorsäure in Verbindung mit Calcium (Apatit, Phosphorit), Eisen (Vivianit) oder anderen Metallen. Die Reduction des Phosphors aus diesen in der Natur vorkommenden Verbindungen geht in hoher Temperatur unter Einwirkung von Kohle leicht von Statten, um so leichter, wenn Eisen zugegen ist, zu dem der Phosphor ein starkes Vereinigungsbestreben besitzt. Selbst die Gegenwart starker Basen vermag nicht bei Gegenwart von Eisen und reducirenden Körpern die Reduction des Phosphors und Aufnahme durch das Eisen zu hindern; bei Berührung von geschmolzenem kohlenstoffhaltigem Eisen mit Phosphaten ist ein fremdes Reductionsmittel nicht einmal erforderlich, sofern die Temperatur hoch genug ist (hohe Temperatur steigert nach S. 12 die Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoff stärker als die vieler anderen Körper), und der Kohlenstoff des Eisens genügt, Phosphor zu reduciren und dem Eisen zuzuführen. Auch Mangan und Silicium können, wie wenigstens sehr wahrscheinlich ist, als Bestandtheile des technisch dargestellten Eisens vermöge ihrer Leichtoxydirbarkeit reducirend auf Phosphate einwirken. Kohlenstofffreies Eisen dagegen ist nach Karsten nicht im Stande, Phosphorreduction herbeizuführen.

Jenes Verhalten des Phosphors erklärt es, dass beim reducirenden Schmelzen von Eisenerzen mit Kohle ein grosser Theil des in den Erzen, den Zuschlägen und der Asche enthaltenen Phosphors reducirt und vom Eisen aufgenommen wird. Annähernd vollständige Reduction des anwesenden Phosphors findet statt, wenn — wie im Hochofen — die Temperatur hoch und die thätigen reducirenden Einflüsse so kräftig sind, dass auch alles anwesende Eisen bis auf kleine in den Schlacken zurückbleibende Mengen reducirt wird. In diesem Falle pflegt die entstehende Schlacke, selbst wenn sie sehr basisch ist, nur unbedeutende Mengen von Phosphor, sei es als Phosphat oder als Phosphormetall, zurückzuhalten. Je niedriger aber die Temperatur, je eisenreicher die entstehende Schlacke ist, desto grössere Mengen des Phosphorsäuregehaltes der Erze u. s. w. bleiben in letzterer zurück. Man kann also selbst aus phosphorreichen Erzen unter Benutzung dieses Verhaltens des Phosphors ein verhältnissmässig phosphorarmes Eisen darstellen, indem man die Erze nicht im Hochofen auf Roheisen, sondern in kleineren, im dritten Abschnitte beschriebenen Schmelzapparaten (Rennfeuern) unter Bildung einer eisenreichen Schlacke auf schmiedbares Eisen verarbeitet, eine Methode, auf welcher die gesammte Eisendarstellung des Alterthums beruhte. Dem Vortheile eines geringeren Phos-

phorgehaltes im Eisen steht hierbei der Nachtheil eines stärkeren Eisenverlustes durch Verschlackung gegenüber.

Beachtenswerth ist, dass ein, wenn auch kleiner, Theil des Phosphorgehaltes einer Beschickung beim reducirenden Schmelzen derselben verflüchtigt werden kann, wie durch genaue Bestimmungen des Phosphorgehaltes vor und nach dem Schmelzen ermittelt worden ist. In welcher Form der Phosphor hierbei entweicht, ist nicht nachgewiesen.[1])

Phosphor und Eisen legiren sich in allen Gewichtsverhältnissen und man hat eine grössere Zahl bestimmter chemischer Verbindungen beider Körper nach Atomverhältnissen dargestellt, die jedoch kaum irgend eine Bedeutung für den Eisenhüttenmann besitzen. Die phosphorärmste dieser Verbindungen ist nach der Formel $Fe_4 P_2$ zusammengesetzt, und man pflegt deshalb, wo Phosphor im Eisen gefunden wird, anzunehmen, dass jenes Phosphid im Ueberschusse des Eisens gelöst sei.

Einflüsse des Phosphorgehaltes auf die Eigenschaften des Eisens.

Obwohl nach Freese die Eisenphosphide ohne einen Gehalt von Kohlenstoff ausserordentlich schwierig schmelzbar sind, erniedrigt doch ein Phosphorgehalt des kohlenstoffhaltigen Eisens — welches hier allein in Betracht kommt — merklich dessen Schmelztemperatur und verleiht dem Eisen eine gewisse Dünnflüssigkeit.

Die Härte des Eisens wird durch Phosphor gesteigert; das Maass dieses Einflusses aber ist erheblich unbedeutender als dasjenige, welches die gleiche Menge Kohlenstoff ausübt. Ohne merklichen Einfluss dagegen ist der Phosphorgehalt des Eisens auf die Härtbarkeit desselben.

Von grösster Wichtigkeit sind die Aenderungen, welche in den Festigkeitseigenschaften des Eisens durch einen Phosphorgehalt hervorgerufen werden. Durch einen geringen Phosphorgehalt wird die Festigkeit des Eisens bei vollständig ruhiger Belastung nicht merklich beeinflusst; durch einen höheren Phosphorgehalt wird sie geschwächt. Die Elasticitätsgrenze aber sowohl als der Elasticitätsmodul werden erhöht; das Eisen verliert an Dehnbarkeit und wird spröde, Erschütterungen, oft unerheblicher Natur, rufen eine Zertrümmerung phosphorhaltigen Eisens hervor. Mitunter erfolgt der Bruch schon in dem Augenblicke, wo die Elasticitätsgrenze überschritten ist. Je niedriger die Temperatur ist, desto empfindlicher macht sich dieser Einfluss des Phosphorgehaltes bemerkbar.

Man bezeichnet die betreffende Eigenschaft des Eisens als Kaltbruch, das phosphorhaltige Eisen als kaltbrüchig.

Zum Theil beruht das geschilderte übele Verhalten phosphorhaltigen Eisens unmittelbar auf der Veränderung, welche die Textur des Eisens durch Anwesenheit von Phosphor erfährt; das Eisen erhält durch den Phosphorgehalt ein grobkrystallinisches Gefüge. Je grössere Spaltungsflächen aber ein Körper besitzt, desto brüchiger, desto weniger dehnbar wird er im Allgemeinen sein.

---

1) Ztschr. d. berg- u. hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten, **1876**, S. **229**.

Der durch Phosphor hervorgerufene Kaltbruch wächst mit dem Gehalte des Eisens an gebundenem Kohlenstoff. In diesem Umstande liegt eine wichtige Veranlassung, den Kohlenstoffgehalt schmiedbaren Eisens um so niedriger zu halten, je höher der Phosphorgehalt ist; oder, mit anderen Worten, zu den kohlenstoffreicheren Sorten schmiedbaren Eisens (Stahl) nur phosphorarmes Material zu benutzen. Während in einem kohlenstoffreichen Stahle schon einige Hundertstel Procent Phosphor von grossem Nachtheile sein können, vermag ein kohlenstoffarmes Eisen mitunter bis zu 0.4 Proc. Phosphor zu enthalten, ohne für gewöhnlichere Verwendungen unbrauchbar zu werden, wenn auch der benachtheiligende Einfluss eines solchen Phosphorgehaltes unverkennbar ist. Im Uebrigen lehrt die Erfahrung, wie im dritten Abschnitte ausführlicher erörtert werden wird, dass auch der Herstellungsprocess des Eisens von Einfluss auf die Wirkung des Phosphorgehaltes ist; Flusseisen erträgt weit geringere Mengen Phosphor als Schweisseisen.

Da an das Roheisen weit geringere Ansprüche hinsichtlich der Elasticität als an schmiedbares Eisen gestellt werden, Dehnbarkeit dieser Eisensorte vollständig, Zähigkeit fast vollständig abgeht, so erklärt es sich, dass der zulässige Phosphorgehalt in dem für Herstellung von Gebrauchsgegenständen bestimmten Roheisen (Gusseisen) eine weit höhere Durchschnittsziffer erreicht als im schmiedbaren Eisen.

Ein Siliciumgehalt des Eisens beeinflusst nicht, wie der Kohlenstoffgehalt, die Einwirkung des Phosphors auf die Festigkeitseigenschaften. Auch dieser Umstand ist von Wichtigkeit. Da ein Siliciumgehalt ähnlich wie der Kohlenstoffgehalt die Festigkeit und bis zu einem gewissen Maasse auch die Härte steigert, so wird man in Fällen, wo ein gewisser Festigkeitsgrad phosphorhaltigen Eisens erforderlich ist, denselben zweckmässiger durch einen höheren Siliciumgehalt bei möglichst niedrigem Kohlenstoffgehalte hervorrufen als umgekehrt. Anderntheils, da Silicium im Roheisen Graphitbildung hervorruft, die Einwirkung des Phosphorgehaltes aber nur durch die Anwesenheit gebundenen Kohlenstoffes gesteigert wird, dessen Menge im Roheisen im umgekehrten Verhältnisse mit dem Graphit- beziehentlich Siliciumgehalte steigt und fällt, so erträgt auch das siliciumreichere Gusseisen durchschnittlich einen höheren Phosphorgehalt als das silicium- und graphitärmere.

Der Umstand, dass phosphorhaltiges Eisen in niedrigerer Temperatur schmilzt als phosphorfreies, macht es erklärlich, dass schmiedbares Eisen, ohne beim Schmieden zu zerfallen, eine um so weniger starke Erhitzung verträgt, je höher sein Phosphorgehalt ist. Nach Åkerman kommt in dieser Beziehung auch der Umstand in Betracht, dass der eigentlichen Schmelzung eine Absonderung in Krystallen vorausgeht und dass diese Neigung des Eisens zu krystallisiren um so stärker ist, je niedriger die Schmelztemperatur ist. Wollte man deshalb ein allzu hoch erhitztes phosphorhaltiges Eisen hämmern, ohne es entsprechend abkühlen zu lassen, so würde es in Körner zerfallen. Dagegen wird die Schmiedbarkeit kohlenstoffarmen Eisens in jenen Temperaturen, welche unterhalb des erwähnten Krystallisationspunktes liegen, durch einen Phosphorgehalt nicht beeinträchtigt; es ist im Gegentheile weicher,

biegsamer, bei der betreffenden Temperatur leichter bearbeitbar als phosphorfreies, und erst in der Kälte tritt nun wieder der Einfluss des Phosphorgehaltes hervor.

7. Eisen und Schwefel.

Aufnahme des Schwefels im Eisen.

Die starke Verwandtschaft des Eisens zum Schwefel lässt sich leicht erkennen, indem man rothglühendes Eisen mit Schwefel berührt. Es erfolgt sofortige Vereinigung und, bei genügender Menge des Schwefels, Schmelzung. In dieser Weise lassen sich beide Körper in allen beliebigen Gewichtsverhältnissen mit einander legiren.

Dass sich bestimmte chemische Verbindungen zwischen Eisen und Schwefel theils in der Natur finden (Schwefelkies, Strahlkies, Magnetkies, vergl. S. 187), theils künstlich darstellen lassen, ist bekannt. Die schwefelärmste dieser Verbindungen, das Eisensulphür Fe S, entsteht, wenn Eisen und Magnetkies bei Luftabschluss einer sehr hohen Temperatur ausgesetzt werden.[1]) Es hat dunkle Bronzefarbe, schwach metallischen Glanz, ist sehr brüchig und schmilzt in Rothgluth.

Das häufige Auftreten des Schwefels in den Eisenerzen wurde bereits mehrfach, insbesondere auch bei der Besprechung des Röstens, erwähnt. Es ergiebt sich aus dem dort Gesagten, dass ein sehr grosser Theil des Schwefelgehaltes der Erze durch zweckmässig geleitete Röstung, unter Umständen ergänzt durch ein späteres Auslaugen, entfernt werden kann.

Noch reicher an Schwefelverbindungen als die Eisenerze pflegen indess die zur Verhüttung derselben in der Neuzeit von Jahr zu Jahr mehr angewendeten mineralischen Brennstoffe, insbesondere die Steinkohlen, zu sein. Durch Waschen der Steinkohlen lässt sich ihr Schwefelgehalt um ein beträchtliches abmindern; ein anderer Theil geht bei der Verkokung davon (S. 83); ein gewisser Rest aber, der mitunter mehr als 2 Proc. vom Gewichte der Koks beträgt, bleibt in allen Fällen zurück und zwar bereits ganz oder doch zum grossen Theil an Eisen gebunden. Bei der erwähnten starken Verwandtschaft des Eisens zum Schwefel würde, sofern nicht besondere Gegenmaassregeln getroffen werden, der grösste Theil jenes Schwefelgehaltes von dem unter Anwendung der Koks als Reductions- und Schmelzmaterial dargestellten Eisen aufgenommen werden und die Eigenschaften desselben in einer Weise beeinflussen, dass es in vielen Fällen für technische Verwendung nicht mehr benutzbar sein würde.

Glücklicherweise giebt das Verhalten der Kalkerde gegenüber schwefelhaltigem Eisen dem Eisenhüttenmanne ein Mittel an die Hand, dem Eisen den Schwefelgehalt zu entziehen. Beim Schmelzen von

---

1) Arfvedson will durch Hinüberleiten von Wasserstoffgas über glühendes basisch schwefelsaures Eisenoxyd, beziehentlich basisch schwefelsaures Eisenoxydul auch Achtel-Schwefeleisen $Fe_8 S$ und Halbschwefeleisen $Fe_2 S$ dargestellt haben. Ob hier eine wirkliche chemische Verbindung im engeren Sinne entstand, ist mindestens zweifelhaft. Vergl. Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. I, S. 38.

schwefelhaltigem Eisen mit Kalkerde und Kohle entsteht Schwefelcalcium, welches im Eisenbade unlöslich ist und von der Schlacke aufgenommen wird, und metallisches Eisen (Roheisen). Man kann den Vorgang durch die Formel: $FeS + CaO + C = Fe + CaS + CO$ veranschaulichen. Es ist hierbei nicht erforderlich, dass die Kalkerde im vollständig freien Zustande sich befinde; auch kalkerdereiche, basische Schlacken üben die nämliche Wirkung, aber um so kräftiger, je grösser ihr Kalkerdegehalt ist. Nach einer Mittheilung von R. Åkerman[1]) lieferte bei Schmelzversuchen im Kleinen ein und dasselbe Erz, welches der Reihe nach mit 15 Proc. Quarzzuschlag, mit 5 Proc. Kalksteinzuschlag und mit 20 Proc. Kalksteinzuschlag geschmolzen wurde, Roheisen mit 0.09, 0.04 und 0.01 Proc. Schwefel. Bei mehreren von mir selbst angestellten Versuchen wurde ein absichtlich zu diesem Zwecke dargestelltes schwefelhaltiges Eisen mit 2.33 Proc. Schwefel ein Mal mit einer Singulosilikatschlacke, ein zweites Mal mit einer Bisilikatschlacke geschmolzen. Beide Schlacken enthielten neben Kalkerde etwas Thonerde, die Menge der Schlacke war in jedem Falle gleich der doppelten Menge des Eisens. Bei der Singulosilikatschlacke enthielt die Schlacke 1.445 Proc., das Eisen 0.079 Proc. Schwefel, bei der Bisilikatschlacke dagegen fand sich in der Schlacke 0.681 Proc., im Eisen 0.357 Proc. Schwefel.[2])

Ebenso wie Kalkerde wirken Alkalien.

Weit geringer ist dagegen die entschwefelnde Wirkung der Magnesia und der Thonerde. Magnesium besitzt eine nur geringe Verwandtschaft zum Schwefel; dennoch nimmt eine basische, magnesia- und thonerdehaltige Schlacke ebenfalls Schwefel aus dem Eisen auf. Als bei den erwähnten, von mir angestellten Versuchen die Kalkerde in den Schlacken durch eine chemisch äquivalente Menge Magnesia ersetzt wurde, während das Verhältniss des Thonerdegehaltes unverändert blieb, enthielt die Singulosilikatschlacke 1.069 Proc. Schwefel und das zugehörige Eisen 0.260; die Bisilikatschlacke 0.290 Proc. Schwefel und das zugehörige Eisen 0.391 Proc.

Bei der Verhüttung der Eisenerze im Hochofen ist daher der Kalkerdegehalt der Schlacke von grösserem Einflusse auf den Schwefelgehalt des erfolgenden Roheisens als der Schwefelgehalt der Erze und Brennstoffe selbst; und die Erfahrung lehrt, dass man aus einer schwefelreichen Beschickung, insbesondere bei Anwendung schwefelreicher Koks, sofern die Schlacke ausreichend basisch (Subsilikat), d. h. reich an Kalkerde, und die Schlackenmenge ausreichend gross ist, schwefelärmeres Eisen darzustellen vermag, als aus einer weniger schwefelreichen (z. B. bei Anwendung von Holzkohlen) mit kieselsäurereicher Schlacke. Roheisensorten, welche bei stark kalkerdereicher Schlacke erblasen wurden, pflegen auch bei dem Betriebe mit Koks höchstens einige Hundertstel Procent Schwefel zu enthalten.

Bei längerer Schmelzung kohlenstoff- und schwefelhaltigen Eisens

1) Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1876, S. 160.
2) Vergl. Literatur.

verflüchtigt sich ein Theil des Schwefels mit einem Theile des Kohlenstoffs und es hinterbleibt ein schwefelärmeres Eisen. Verschiedene Versuche, die in Percy's Laboratorium angestellt wurden, lassen diesen Vorgang erkennen.[1]) Es mögen nur zwei derselben als Beispiele erwähnt werden.

	Vor dem Schmelzen		Nach dem Schmelzen	
	Kohlenstoff	Schwefel	Kohlenstoff	Schwefel
Erster Versuch	3.841	4.378	3.170	2.120
Zweiter Versuch	4.164	2.235	3.900	1.680

Vermuthlich werden die Körper in gegenseitiger Vereinigung zu Schwefelkohlenstoff (Kohlenstoffbisulfid) verflüchtigt, obgleich allerdings die Gewichtsmengen der verflüchtigten Bestandtheile nicht jener Zusammensetzung entsprechen. Eine Erklärung hierfür lässt sich übrigens in den Einflüssen finden, welche die Tiegelwandungen und die in den Tiegel eindringenden Gase auf die Zusammensetzung des flüssigen Eisens, insbesondere auf den Kohlenstoffgehalt desselben ausüben. Durch Reduction von Silicium aus dem Tiegel sowohl als durch Einwirkung von Kohlensäure, welche in den Tiegel Zutritt erhielt, wird Kohle verflüchtigt.

Auch durch Schmelzen von schwefelreichem Eisen mit Holzkohle wird Schwefel ausgetrieben.[2])

Aehnlich wie Kohle wirkt Silicium auf den Schwefel; d. h. durch einen hohen Siliciumgehalt des Eisens, beziehentlich durch reichliche Reduction von Silicium aus der Schlacke wird ein Theil des Schwefels ausgetrieben. Beim Schmelzen von Einfach-Schwefeleisen mit der gleichen Gewichtsmenge Kieselsäure unter Zusatz von Holzkohle als Reductionsmittel erhielt Percy Siliciumeisen mit 15—18 Proc. Silicium und nur 1—1.7 Proc. Schwefel; etwa 95 Proc. des vorhandenen Schwefelgehaltes waren verflüchtigt.[3]) Es ist sehr wahrscheinlich, dass hier Bildung von Schwefelsilicium (S. 243) stattgefunden hat. Bei Erhitzung des Schwefeleisens mit Kieselsäure ohne Holzkohle fand keine Austreibung von Schwefel statt.

Dass durch Eisenoxyd, welches in hoher Temperatur auf Schwefeleisen wirkt, dieses unter Bildung und Verflüchtigung von schwefliger Säure zersetzt werde, wurde schon früher (S. 188) erwähnt. Eisenoxyduloxyd (nicht etwa metallisches Eisen) bleibt zurück. Percy erklärt den Vorgang durch folgende Formel:

$$FeS + 10 Fe_2 O_3 = 7 Fe_3 O_4 + SO_2.$$

Wenn es auch zweifelhaft ist, ob genau die Verbindung $Fe_3 O_4$ entsteht, so lässt sich doch aus dem Umstande, dass metallisches Eisen niemals hierbei gebildet wird, der Schluss ziehen, dass niedrigere Oxydationsstufen als $Fe_2 O_3$ nicht oxydirend auf Schwefeleisen einwirken. In eisenreichen Schlacken findet man deshalb neben Eisenoxyduloxyd oft nicht unbeträchtliche Mengen von Schwefelmetall.

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 174—176.
2) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 42; Berthier, Traité des essais par la voie sèche, tome I, p. 488; tome II, p. 191.
3) Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 48.

Einflüsse des Schwefelgehaltes auf die Eigenschaften des Eisens.

Dass durch einen Schwefelgehalt der Sättigungsgrad des Eisens für Kohle wie die Fähigkeit desselben, Kohlenstoff graphitisch auszuscheiden, abgemindert werde, wurde bereits auf S. 233 erwähnt. Bei der Roheisendarstellung befördert also ein Schwefelgehalt, sofern er einigermaassen beträchtlich ist, die Entstehung kohlenstoffarmen weissen Eisens. Hinsichtlich der Grösse des Gesammtkohlenstoffgehaltes wirkt mithin der Schwefel in demselben Sinne als Silicium, hinsichtlich des Graphitgehaltes aber umgekehrt als dieses. Schon wenige Zehntel Procent Schwefel im Roheisen genügen, diesen Einfluss deutlich erkennen zu lassen.

Die Schmelztemperatur des Eisens sinkt durch Aufnahme von Schwefel; geschmolzenes schwefelreiches Roheisen zeigt jedoch eine dickflüssige Beschaffenheit und besitzt die Eigenschaft, mit Löchern und Blasen im Innern zu erstarren, die eine Folge von Gasbildung sind. Aus dem Eisen selbst entweicht vermuthlich Schwefelkohlenstoff, bei der Berührung desselben mit feuchten Körpern (Formsand) wird Schwefelwasserstoff entwickelt.

Die Festigkeit des Eisens in der Kälte wird durch einen Schwefelgehalt, welcher nicht erheblich über 0.1 Proc. hinausgeht, nicht merklich beeinträchtigt. Manche Eisenhüttenleute glauben sogar eine Steigerung der Festigkeit gegossenen Eisens durch einen Schwefelgehalt beobachtet zu haben, und wie Akerman berichtet, giebt man dem zum Geschützgusse bestimmten Roheisen von Finspong absichtlich 0.1 bis 0.15 Proc. Schwefel. Åkerman fügt allerdings hinzu, dass die Einwirkung des Schwefels hierbei möglicherweise die sei, die Aufnahme eines allzu reichlichen Kohlenstoffgehaltes zu verhindern; denn ein sehr festes Eisen darf keinen höheren Gehalt an gebundener Kohle als höchstens 1.8 Proc. besitzen.

Erhitzt man aber schmiedbares Eisen, welches eine gewisse Menge Schwefel enthält, zu dunkler Rothgluth, so verliert es in dieser Temperatur seinen Zusammenhang, bekommt beim Schmieden (Walzen etc.) Risse oder fällt gar in Brocken aus einander. Diese durch einen Schwefelgehalt hervorgerufene Eigenschaft des Eisens heisst Rothbruch und das betreffende Eisen wird rothbrüchiges Eisen genannt.

Es ist klar, dass nicht allein die Verarbeitung schmiedbaren Eisens durch den Rothbruch ausserordentlich erschwert wird, sondern dass auch die Festigkeit des erkalteten, vorher in Rothgluth bearbeiteten Eisens darunter leiden kann. Bei der Bearbeitung entstehen Querrisse im Eisen, sogenannte unganze Stellen, welche nicht immer dem Auge sofort erkennbar sind und später den Bruch herbeiführen.

Glücklicherweise ist dieser Einfluss des Schwefels nicht in allen Temperaturen der nämliche. Am deutlichsten zeigt er sich, wie erwähnt, in dunkler Rothgluth, in heller Rothgluth ist er geringer. Manche Eisensorten, welche in dunkler Rothgluth kaum bearbeitbar sein und nur unganze Schmiedestücke geben würden, lassen sich demnach zu brauchbaren Erzeugnissen verarbeiten, wenn man die Vorsicht gebraucht, die Bearbeitung in höherer Temperatur — heller Rothgluth — vorzunehmen und zu vollenden. Bei sehr beträchtlichem Schwefelgehalte

würde auch dieser Kunstgriff nicht vor der Entstehung von Rissen schützen.

Die Menge des Schwefels, welche Rothbruch des schmiedbaren Eisens hervorruft oder welche ihn zu einem solchen Grade steigert, dass das Eisen unbrauchbar wird, ist nicht in allen Eisensorten die nämliche. Sehr empfindlich ist alles Schweisseisen gegen die Einflüsse des Schwefels. Nach Eggertz zeigt ein Schweisseisen mit 0.02 Proc. Schwefel schon deutlichen Rothbruch, während ein Gehalt von mehr als 0.04 Proc. das Eisen unbrauchbar machen kann. Im Flusseisen dagegen findet man nicht selten 0.1 Proc. Schwefel, ohne dass die Verarbeitbarkeit erheblich darunter litte.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Grund für diese verschiedene Einwirkung des Schwefels auf Schweisseisen und Flusseisen in der Anwesenheit anderer Körper, insbesondere des Mangans, im Flusseisen zu suchen ist, welches hier selten fehlt, während es im Schweisseisen, wenigstens in den kohlenstoffarmen Sorten desselben, im metallischen Zustande nicht oder doch nur in verschwindend kleinen Mengen auftreten kann. Wasum fand[1]), dass ein Flusseisen mit 0.059 Proc. Schwefel und 0.695 Proc. Mangan sich vollständig tadellos walzen liess; bei 0.158 Proc. Schwefel und 0.634 Proc. Mangan zeigten sich schwache Andeutungen von Rothbruch, bei 0.201 Proc. Schwefel und 0.500 Proc. Mangan war das Eisen stark rothbrüchig.

Es scheint hieraus hervorzugehen, dass 0.15 Proc. Schwefel im manganhaltigen Flusseisen die zulässige höchste Grenze des Schwefelgehaltes bildet, welche, ohne dass das Eisen unbrauchbar wird, nicht überschritten werden darf.

Ein Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf das Maass der Einwirkung des Schwefels, wie er bei dem durch Phosphor erzeugten Kaltbruch so deutlich hervortritt (S. 247), ist nicht bemerkbar. Manche Praktiker sind sogar der Meinung, dass ein kohlenstoffreicher Stahl weniger empfindlich für jene Einwirkung sei als ein kohlenstoffarmes Eisen. Vermuthlich spielt aber hierbei das anwesende Mangan, dessen Menge in den härteren Stahlsorten oft beträchtlicher ist als im weichen Eisen, ebenfalls eine Rolle.

8. Eisen und Mangan.

Reduction des Mangans.

Das Mangan gehört zu den schwer reducirbaren Metallen und wird nur in Weissgluth durch festen Kohlenstoff reducirt. Da es sich leicht mit dem Eisen legirt, so befördert die Anwesenheit reducirten Eisens, wie es scheint, auch die Reduction des Mangans, und es erklärt sich hieraus, dass beim Verhütten manganhaltiger Erze im Hochofen, also unter Einflüssen, welche die Reduction fast sämmtlichen Eisens herbeiführen, doch regelmässig auch ein Theil des Mangangehaltes reducirt und vom Eisen aufgenommen wird, selbst wenn die Temperatur nicht so hoch sein sollte, als für die Reduction grösserer Manganmengen erforderlich sein würde. Ebenso regelmässig bleibt aber ein anderer Theil

---

1) Vergl. Literatur.

des Mangans in den Schlacken als Manganoxydul zurück, selbst wenn die reducirenden Einflüsse noch so kräftig und die Temperatur noch so hoch sein sollte.

Durch die Anwesenheit kräftiger Basen oder einer stark basischen Schlacke wird die Reduction des Mangans befördert. Es erklärt sich dieser Umstand leicht, wenn man erwägt, dass das Manganoxydul selbst als kräftige Base wirkt und um so stärkere Neigung, in ein Silikat einzutreten, besitzen wird, je grösser die Menge der anwesenden Kieselsäure ist.

Bei der Reduction des Mangans durch Kohle erfolgt stets Kohlenstoffmangan, dessen Kohlenstoffgehalt, sofern nicht noch andere Körper zugegen sind und beeinflussend hierauf wirken, etwa 7.5 Proc. zu betragen pflegt. Häufig aber werden kleinere oder grössere Mengen Silicium reducirt, wodurch der Sättigungsgrad für Kohlenstoff sich verringert; und da kaum ein Manganerz vollständig frei von Eisen ist, so würde ein eisenfreies Mangan nur aus solchen Verbindungen sich herstellen lassen, welche zuvor chemisch von ihrem Eisengehalte befreit sind.

Je weniger Eisen aber neben Mangan reducirt wird, desto höher liegt, wie schon erwähnt, die Reductionstemperatur des Mangans, wie auch die Schmelztemperatur der entstehenden Legirung; und zur Darstellung sehr manganreicher Legirungen sind Temperaturen erforderlich, bei denen bereits ein Theil des Mangans Gasform annimmt und sich verflüchtigt, an der Luft zu rothbraunem Manganoxyduloxyd verbrennend.

Die Schwierigkeit der Darstellung manganreicher Legirungen wächst daher mit ihrem Mangangehalte und der Preis der gleichen Menge reinen Mangans in den Legirungen steigt um so höher, je weniger Eisen neben dem Mangan zugegen ist.

Erreicht aber der Mangangehalt in den Legirungen die Höhe von 90 Proc. oder wenig darüber, so zeigt sich ein eigenthümliches Verhalten; die Legirung berstet nach kurzer Zeit an verschiedenen Stellen, schwillt förmlich auf und zerfällt schliesslich vollständig zu Pulver. Die Ursachen dieser Erscheinung sind bislang nicht erforscht worden. Oxydation des Mangans ist nicht der Grund, wie sich aus Untersuchungen ergiebt, die ich mit einem solchen zerfallenen Mangan anstellte. Selbst nach Verlauf mehrerer Jahre war der Sauerstoffgehalt ein nur sehr geringer. Es ist einiger Grund zu der Annahme vorhanden, dass das flüssige Mangan Gase in reichlicher Menge zu lösen vermag, welche erst nach dem Erkalten allmählich wieder austreten, Gasform annehmen und durch ihre bedeutende Volumvergrösserung jenes Zerfallen herbeiführen.

Die Grenze des Mangangehaltes, über welche hinaus dieser Vorgang eintritt, ist zum Theil von der Beschaffenheit der sonstigen mit dem Mangan legirten Körper abhängig. Während das von mir untersuchte, schon oben erwähnte, zerfallene Mangan folgende Zusammensetzung besass:

Mangan	88.59
Eisen	3.91
Kohlenstoff	7.24
Silicium	0.24,

fanden sich innerhalb desselben Kugeln von Haselnussgrösse, welche auch nach Jahren noch vollständig fest blieben und bei der Analyse die Zusammensetzung zeigten:

Mangan	85.500
Eisen	7.827
Kohlenstoff	6.613
Silicium (aus der Differenz) .	0.060

Das abweichende Verhalten scheint also hier durch den um 3 Proc. höheren Mangangehalt der ersteren Legirung bedingt zu sein.

Nach Brunner besitzt kohlenstofffreies Mangan, welches man durch Reduction von Manganchlorür mit Natrium erhält und welches stets siliciumhaltig ist, jene Eigenschaft des Zerfallens nicht[1]); es lässt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, dass auch das Kohlenstoffmangan selbst bei einem Mangangehalte von 90 Proc. oder etwas darüber noch beständig sein wird, wenn es zugleich einen etwas grösseren Siliciumgehalt besitzt als das von mir untersuchte.

Durch Schmelzen von 717 Thl. geschmolzenem Manganchlorür, 898 Thl. Quarz, 674 Thl. Kryolith, 645 Thl. Natrium erhielt Mrázek Siliciummangan mit 13.13 Proc. Silicium und 86.87 Proc. Mangan, welches selbst gegen starke Säuren (Königswasser) widerstandsfähig war[2]), eine Eigenschaft, welche auch den siliciumreichen Eisenlegirungen zukommt.

Wöhler fand in den nach Brunner's Methode dargestellten Siliciummanganlegirungen säulenförmige Krystalle.[3])

Schon früher wurde erwähnt, dass metallisches Mangan als Reductionsmittel für Silicium aus Kieselsäure zu dienen vermag, sofern ein Ueberschuss der letzteren zugegen ist, um das entstehende Manganoxydul zu verschlacken. Geschmolzenes manganhaltiges Eisen, welches längere Zeit mit quarzhaltigen Ofenbaumaterialien oder mit kieselsäurereicher Schlacke in Berührung bleibt, wird mehr und mehr manganärmer und siliciumreicher. Beim Schmelzen manganreicher Eisensorten in Oefen, die mit den gewöhnlichen (nicht basischen) feuerfesten Materialien ausgesetzt sind, lässt sich fast regelmässig diese Beobachtung machen, deutlicher noch beim Schmelzen in Tiegeln, wobei die oxydirenden Einflüsse wegfallen, welche auch eine Abminderung des Siliciumgehaltes zur Folge haben. Die grosse Verschiedenheit in den Einflüssen aber, welche durch einen Mangangehalt einerseits und einen Siliciumgehalt andrerseits auf die Eigenschaften des Eisens ausgeübt werden, erklärt es, dass durch diese chemischen Aenderungen der Zusammensetzung des Eisens beim Schmelzen oder ruhigem Stehen im flüssigen Zustande oft eine erhebliche Beeinflussung der physikalischen Beschaffenheit des Eisens stattfindet. Weisses manganreiches Roheisen (Spiegeleisen) kann durch einfache Schmelzung bei hoher Temperatur in graues Roheisen umgewandelt werden.

---

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 114.
2) Vergl. Literatur.
3) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 115.

Einflüsse des Mangangehaltes auf die Eigenschaften des Eisens.

Es wurde schon früher als eine Eigenschaft des Mangangehaltes im Eisen bezeichnet, das Sättigungsvermögen des letzteren für Kohlenstoff zu steigern, die Graphitausscheidung aber zu beeinträchtigen. Mangan und Silicium üben in dieser Beziehung gerade entgegengesetzte Einflüsse aus.

Eine weitere Folge dieser Einwirkung ist dann, dass das kohlenstoffreichere Eisen, das Roheisen, härter und spröder durch einen Mangangehalt wird, da die grössere Menge der gebundenen Kohle, wie oben erwähnt, Härte und Sprödigkeit hervorruft.

Aber auch unmittelbar wird die Härte des Eisens durch Legirung mit Mangan erhöht. Mrázek fand, dass eine Legirung mit 0.384 Proc. Kohlenstoff und 1.380 Proc. Mangan ohne Silicium, ein sogenannter Manganstahl, nach dem Schmieden und langsamen Erkalten den Härtegrad 6 besass, entsprechend der Härte eines kohlenstoffreicheren Stahles mit geringerem Mangangehalte; durch Erhitzen und Ablöschen in Wasser steigerte sich die Härte auf 7. Es ergiebt sich hieraus, dass sowohl die Härte als die Härtbarkeit des Eisens durch den Mangangehalt gesteigert wird, und der Mangangehalt sich in dieser Beziehung ähnlich wie ein Kohlenstoffgehalt verhält; aber die Wirkung gleicher Gewichtsmengen Mangan ist ungleich schwächer als die des Kohlenstoffes. Nach F. C. G. Müller's Ansicht, die auf Beobachtungen in der Praxis sich stützt, ist 1 Proc. Mangan in dieser Beziehung gleichwerthig mit 0.2 Proc. Kohlenstoff, so dass also die fünffache Menge Mangan nothwendig ist, um die gleiche Härtesteigerung als durch die einfache Menge Kohlenstoff hervorzubringen.[1])

Die Festigkeit kohlenstoffarmen Eisens wird durch einen Mangangehalt gesteigert; aber auch hier tritt, wie bei der Steigerung des Kohlenstoffgehaltes bald eine Grenze ein, über welche hinaus die Festigkeit rasch wieder abnimmt. Jene Grenze wird, wie leicht begreiflich ist, um so früher erreicht werden, je mehr Kohlenstoff neben Mangan zugegen ist. Aus Festigkeitsversuchen, welche mit einer grösseren Zahl manganhaltiger Eisensorten angestellt wurden, schliesst Wedding[2]), dass für solches Eisen, von dem eine grosse Festigkeit verlangt wird, der Mangangehalt niemals 3 Proc. überschreiten darf, während das günstigste Verhältniss bei etwa 0.95 Proc. Kohlenstoff mit 0.5—0.6 Proc. Mangan zu liegen scheint.

Mit der Festigkeit steigert sich die Elasticitätsgrenze und zwar in noch etwas rascherem Verhältnisse als diese; die Folge ist, dass die Zähigkeit und Dehnbarkeit des Eisens mit zunehmendem Mangangehalte sich, wenn auch sehr allmählich, verringern. Auch in dieser Beziehung dürfte die Einwirkung des Mangans, verglichen mit der Einwirkung einer gleich grossen Menge Kohlenstoff, dem oben mitgetheilten, zuerst von Müller angegebenen Verhältnisse 1 : 5 annähernd entsprechen.

Die Schmiedbarkeit des Eisens in Roth- und Weissgluth wird durch den Mangangehalt, soweit die bis jetzt angestellten Beobachtungen

---

1) Glaser's Annalen, Bd. X, S. 224.
2) Vergl. Literatur.

reichen, eher erhöht als verringert. Entschieden günstig scheint in dieser Beziehung, wie schon oben angedeutet wurde, ein Mangangehalt auf schwefelhaltiges Eisen zu wirken; der durch Schwefel erzeugte Rothbruch wird durch Anwesenheit von Mangan verringert; oder, mit anderen Worten, ein manganhaltiges Eisen erträgt einen grösseren Schwefelgehalt, ohne rothbrüchig zu werden, als manganfreies. Einige von Wasum erhaltene Versuchsergebnisse über diese Einwirkung wurden auf S. 252 mitgetheilt.

Eine merkliche Beeinflussung des durch Phosphor im Eisen hervorgerufenen Kaltbruches durch gleichzeitig anwesendes Mangan findet dagegen nicht statt, weder eine Verstärkung der Phosphorwirkung (wie sie nach Früherem durch Kohlenstoff herbeigeführt wird) noch eine Abschwächung. Der Umstand aber, dass ein Mangangehalt ähnlich wie Kohlenstoff die Härte des Eisens steigert, im Verein mit dem soeben erwähnten einflusslosen Verhalten des Mangans gegenüber dem Phosphor im Eisen, gestattet eine praktische Nutzanwendung. Wenn die Aufgabe vorliegt, aus phosphorhaltigem Materiale ein Eisen von bestimmtem Härtegrade herzustellen (der allerdings die Härte der weicheren Stahlsorten nicht übersteigen darf), so wird, wenn man diese Härte durch einen Mangangehalt anstatt durch einen Kohlenstoffgehalt hervorruft, das Erzeugniss weniger kaltbrüchig und deshalb brauchbarer sein als im andern Falle.[1]

Die geschilderten Einflüsse des Mangans beruhen zum grossen Theile zweifellos auf der stärkeren Verwandtschaft des Mangans als des Eisens zu anderen Körpern. Noch deutlicher zeigt sich diese Eigenschaft des Mangans beim längeren Stehen flüssigen Eisens, welches Mangan und Schwefel neben einander enthält. Das Mangan legirt sich mit dem Schwefel; das Schwefelmangan aber ist im Eisen schwieriger löslich als das Schwefeleisen und saigert aus, solcherart eine Reinigung des Eisens vom Schwefel bewirkend.

Schon Berthier machte bei seinen Versuchen über Schmelzbarkeit u. s. w. die Beobachtung, dass beim Schmelzen einer schwefelhaltigen und zugleich manganhaltigen Beschickung Schwefel in die Schlacke geführt werde; Caron wies später durch Versuche nach, dass auch dem Roheisen durch Schmelzen mit Mangan ein sehr grosser Theil seines Schwefelgehaltes entzogen werden könne. Ein Roheisen, welches 1.15 Proc. Schwefel enthielt und dessen Schwefelgehalt nach einfacher Schmelzung ohne Mangan sich nur auf 1.14 Proc. abgemindert hatte, wurde mit 6 Proc. Manganzusatz geschmolzen, wobei sich der Schwefelgehalt auf 0.15 Proc., der Mangangehalt auf 3.92 Proc. abminderte; wiederholte Versuche ergaben ähnliche Ergebnisse und theilweise noch niedrigeren Schwefelgehalt.[2]

---

1) Vergl. auch den Einfluss des Siliciumgehaltes an Stelle des Kohlenstoffgehaltes bei Anwesenheit von Phosphor, wenn Festigkeit hervorgerufen werden soll, auf S. 247.

2) Vergl. Literatur.

Auch in der Praxis lässt sich nicht selten diese Einwirkung des Mangangehaltes beobachten. Auf der Oberfläche ruhig stehenden flüssigen Eisens (und insbesondere Roheisens) bilden sich tropfenartige Ausscheidungen, welche früher erstarren als das darunter befindliche Eisen, als dunkele blatternartige Gebilde auf der Oberfläche umherschwimmen und in den Eisengiessereien als „Wanzen" bezeichnet werden. Sie bestehen offenbar aus Absonderungen aus dem Eisen, die allerdings theilweise infolge der oxydirenden Wirkung der Luft auf die leichter oxydirbaren Bestandtheile des Eisens entstanden und in diesem Falle aus oxydirten Körpern bestehen, in allen Fällen aber weit reicher an Schwefel und Mangan zu sein pflegen als das Eisen, aus dem sie sich ausschieden. Besonders deutlich zeigt sich dieser Vorgang bei folgenden von mir angestellten Analysen eines für die Giesserei bestimmten Gusseisens nebst den von der Oberfläche desselben beim ruhigen Stehen abgeschöpften „Wanzen": [1])

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan	Eisen	Sauerstoff (als Differenz)
Gusseisen . .	3.463	2.196	n. best.	0.056	2.620	n. best.	0.000
Wanzen . . .	3.818	1.869	0.475	0.223	5.188	87.099	1.328

Gewöhnlich hat man diese Wanzen erst abgelöst, nachdem das Eisen erkaltet war. Da inzwischen aber, wie erwähnt, auch unter dem Einflusse des atmosphärischen Sauerstoffes bestimmte leichter oxydirbare Körper aus dem Eisen austraten und in jene Wanzen übergingen, so tritt bei der Analyse derselben die erwähnte Wirkung des Mangans weniger deutlich hervor als in obigem Falle; immerhin aber zeigt sich auch hier regelmässig ein hoher Schwefelgehalt. So z. B. fand Muck in drei Fällen die Zusammensetzung solcher Wanzen folgendermaassen: [2])

Kieselsäure	31.874	31.939	28.731
Eisenoxydul	39.609	38.107	45.873
Manganoxydul	24.612	25.876	21.108
Kalkerde	1.580	1.363	0.615
Magnesia	0.150	0.051	0.031
Phosphorsäure	3.401	4.088	4.335
Schwefel	1.602	1.701	0.824
	102.828	103.125	101.517.

Der Umstand, dass in allen drei Fällen die Summe der gefundenen Körper grösser ist als 100, beweist deutlich, dass ein Theil der als Oxyde aufgeführten Körper nicht als solche, sondern als Metalle, beziehentlich in Legirung mit dem Schwefel zugegen war. Bei dem grossen Mangangehalte kann man mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass der Schwefel vollständig an Mangan gebunden war. Woher der Gehalt an Kalkerde und Magnesia stammt, ist nicht zu ersehen.

Ich selbst fand bei einer Untersuchung solcher nach dem Erkalten

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 322.
2) Dingl. Polyt. Journ., Bd. 214, S. 48.

des Roheisens abgelöster Wanzen deren Zusammensetzung folgendermaassen:

Kieselsäure	29.30
Eisenoxyd	13.46
Eisenoxydul	46.73
Manganoxydul	6.40
Mangansulfür (enthaltend 0.46 Schwefel)	1.25
Phosphorsäure	2.66
	99.80.

Da, wie bereits erwähnt, auch bei der Verhüttung von schwefelhaltigen Erzen diese stärkere Verwandtschaft des Mangans zum Schwefel sich geltend macht und das entstehende Schwefelmangan von der Schlacke aufgenommen wird, so spielt in dieser Beziehung das Mangan eine gleiche Rolle als Kalkerde (vergl. S. 249); aber die betreffende Wirkung des Mangans ist nach Åkerman noch kräftiger als die der Kalkerde und bei gleich hoher Temperatur wird aus gleich basischen Beschickungen um so mehr Schwefel in die Schlacke geführt, je manganreicher die Beschickung ist.

Eine der besprochenen Entschweflung des Eisens durch Mangan entsprechende Einwirkung auf den Phosphorgehalt findet jedoch nicht statt, wie mehrfach durch Versuche bestätigt worden ist. In Percy's Laboratorium erhielt man durch Schmelzen einer innigen Mischung von 20 Thl. Pyrolusit, 20 Thl. Knochenasche, 10 Thl. Kieselsäure, 6 Thl. Lampenruss neben entstandener Schlacke ein Metall mit 21.97 Proc. Phosphor[1]); deutlicher noch zeigte sich dieses wirkungslose Verhalten bei Versuchen von Caron, welcher phosphorhaltiges Roheisen ebenso, als es hinsichtlich des schwefelhaltigen oben erwähnt wurde, mit Manganzusatz schmolz. Nach dreimal wiederholtem Schmelzen eines Eisens mit 0.82 Proc. Phosphor unter Zusatz von 6 Proc. Mangan hatte sich der Phosphorgehalt nicht mehr als auf 0.76 Proc. verringert, ein Erfolg, der vermuthlich auch ohne den Manganzusatz erreicht worden wäre. Der Mangangehalt des dreimal umgeschmolzenen Eisens betrug 1.62 Proc.

Dagegen lassen Vorgänge der Praxis schliessen, dass die Ausscheidung des Phosphors aus flüssigem Eisen durch Oxydation erleichtert wird, wenn zugleich eine manganoxydulreiche Schlacke zugegen ist oder bei der Oxydation entsteht, welche die Phosphorsäure aufnimmt. Dieser Vorgang wird später ausführlichere Besprechung finden (vergl. Oxydation des Eisens und seiner Begleiter).

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen grösseren Gehalt an Mangan erhöht und steigt in gleichem oder annähernd gleichem Verhältnisse mit dem Mangangehalte. Jene manganreichen Legirungen, deren Mangangehalt den Eisengehalt noch übertrifft, schmelzen nur in den höchsten in unseren Oefen erreichbaren Temperaturen. Ob nicht aber ein kleiner Mangangehalt ermässigend auf die Schmelztemperatur des Eisens einzuwirken vermöge, ähnlich wie kleine Mengen

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 94.

Blei die Schmelztemperatur des Zinnes, kleine Mengen Antimon oder Silber die Schmelztemperatur des Bleies erniedrigen, ist nicht mit Sicherheit festgestellt worden. Reiser bezweifelt diese Einwirkung aus dem Grunde, weil Stahl, welcher infolge eines Siliciumgehaltes heissbrüchig ist, durch einen Manganzusatz heissfest gemacht wird und dieser Einfluss auf eine Erhöhung der Schmelztemperatur schliessen lässt.[1])

9. Eisen und Kupfer.

Kleine Mengen Kupfer werden ohne Schwierigkeit vom Eisen aufgenommen; und da das Kupfer leichter reducirbar und schwerer oxydirbar ist als das Eisen, so erklärt es sich, dass bei der Verhüttung kupferhaltiger Eisenerze der gesammte Kupfergehalt derselben mit dem reducirten Eisen sich legirt und auch durch einen Oxydationsprocess nicht wieder von demselben zu trennen ist, sondern dasselbe durch alle Stufen der verschiedenen Verarbeitung hindurch begleitet.

Glücklicherweise sind die Einwirkungen, welche durch einen solchen, aus den Eisenerzen dem Eisen zugeführten Kupfergehalt auf die Eigenschaften desselben ausgeübt werden, nicht sehr erheblich.

Dass die Festigkeit ganz reinen Eisens durch einen Kupfergehalt bis zu einer gewissen Grenze gesteigert werden könne, wie auch umgekehrt die Festigkeit des reinen Kupfers durch einen Eisengehalt sich erhöhen lässt[2]), unterliegt keinem Zweifel; aber der in dem technisch dargestellten Eisen zufällig anwesende Kupfergehalt ist nicht bedeutend genug, um eine merkbare Einwirkung in dieser Beziehung hervorzubringen, und ein absichtlicher Zusatz grösserer Mengen würde in anderer Weise schädlich auf die Verwendbarkeit des Eisens einwirken.

Der einzige bemerkbare Einfluss nämlich, den ein mässiger Kupfergehalt des Eisens auf dieses ausübt, ist die Erzeugung von Rothbruch, ähnlich wie ihn Schwefel hervorruft; aber die Einwirkung des Kupfers in dieser Beziehung ist ganz unvergleichlich geringer als die des Schwefels. In früherer Zeit nahm man an, dass etwa 0.4 Proc. Kupfer beginnenden Rothbruch hervorrufe. Eggertz schreibt dem Kupfergehalte im Stahl eine stärkere Wirkung zu als im Schmiedeeisen und giebt an, dass ein Gehalt von 0.5 Proc. Kupfer ersteren unbrauchbar mache, während ein kohlenstoffarmes Eisen mit dem nämlichen Kupfergehalte nur Spuren von Rothbruch zeige.[3]) Aus neueren, von Wasum angestellten Versuchen[4]) ergiebt sich in der That, dass bei einem Kohlenstoffgehalte des Eisens von 0.2—0.3 Proc. die Einwirkung des Kupfers ausserordentlich gering ist; zwei Eisensorten von folgender Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Mangan	Schwefel	Kupfer
Nr. 1	0.276	0.144	0.064	0.778	0.059	0.452
Nr. 2	0.233	0.091	0.050	0.709	0.060	0.862

1) Glaser's Annalen, Bd. XI, S. 25.

2) A. Ledebur, Metallverarbeitung auf chemisch-physikalischem Wege, Braunschweig 1882, S. 38.

3) Wagner's Jahresbericht der chemischen Technologie, 1862, S. 9; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 195 und 200.

4) Vergl. S. 252 und Literatur.

verhielten sich beim Auswalzen zu Eisenbahnschienen tadellos und nur bei Nr. 2 zeigten sich die oberen Enden der Schienen ein wenig rissig. Selbst der bedeutende Kupfergehalt von 0.862 Proc. neben 0.06 Proc. Schwefel vermochte also kaum merklich einzuwirken. Auch ein Eisen mit 0.311 Proc. Kohle, 0.849 Proc. Kupfer, 0.107 Proc. Schwefel bei 0.514 Proc. Mangan, also noch höherem Schwefelgehalte neben reichem Kupfergehalte zeigte nur schwache Andeutungen von Rothbruch. Ob etwa der Mangangehalt auch den Einfluss des Kupfers ähnlich wie denjenigen des Schwefels abschwäche, ist nicht ermittelt worden.

Kupferreichere Legirungen lassen sich durch Zusammenschmelzen beider Metalle herstellen, besitzen aber nicht solche Eigenschaften, welche ihre technische Herstellung als räthlich erscheinen lassen könnten. Sie sind, so lange nicht der Kupfergehalt den Eisengehalt überwiegt, hart, spröde, und zum Saigern geneigt. Je höher aber der Kohlenstoffgehalt des angewendeten Eisens ist, desto schwieriger findet Legirung statt und desto leichter scheidet das Kupfer wieder aus, ein Umstand, der sich durch die geringe Legirungsfähigkeit zwischen Kupfer und Kohlenstoff erklären lässt. In Lüttich vor längeren Jahren angestellte Versuche, Roheisen mit Kupfer zu einer gleichartigen Legirung zusammenzuschmelzen, blieben ohne Erfolg.[1]

10. Eisen und Kobalt oder Nickel.

Beide in der Ueberschrift genannten Metalle finden sich in kleinen Mengen häufig in den Eisenerzen und verhalten sich beim reducirenden Schmelzen der letzteren ebenso wie das Kupfer; d. h. sie werden ebenfalls reducirt, legiren sich mit dem Eisen und lassen sich auch durch oxydirende Einwirkungen nicht wieder von demselben trennen.

Die Menge des solcherart in das Eisen geführten Kobalts oder Nickels beträgt mitunter einige Zehntel-, häufiger einige Hundertstel Procente. Irgend eine Beeinflussung der Eigenschaften des Eisens durch diesen Gehalt der erwähnten Metalle ist bislang nicht nachgewiesen worden.

Durch Zusammenschmelzen lassen sich sowohl Kobalt als Nickel verhältnissmässig leicht mit dem Eisen legiren. Mehrfach angestellte Versuche, derartige Legirungen technisch zu verwenden, scheinen einen befriedigenden Erfolg nicht gehabt zu haben, wovon theils die grössere Sprödigkeit des legirten Eisens, theils der ziemlich hohe Preis der beiden Metalle die Ursache sein mögen.[2] Dass Meteorite neben Eisen gewisse Mengen Nickel und Kobalt zu enthalten pflegen, darf als bekannt vorausgesetzt werden.

11. Eisen und Chrom.

Wenn man chromhaltige Eisenerze verhüttet, so wird das Chrom unschwer reducirt und legirt sich mit dem Eisen. Ob durch oxydirende

---

1) Annales des mines, série III, tome III, p. 233 (1833).

2) Vergl. u. a. Liebig's Annalen für Chemie und Pharmacie, Bd. 2, S. 237; auch Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde I, S. 228.

Einwirkungen auf das geschmolzene Eisen das Chrom wieder aus demselben ausgeschieden werde, scheint mit Sicherheit nicht nachgewiesen zu sein, lässt sich aber mit Wahrscheinlichkeit annehmen. Dieses zufällige Auftreten von Chrom in dem technisch dargestellten Eisen ist jedoch verhältnissmässig selten.

Absichtlich stellt man Eisenchromlegirungen durch reducirendes Schmelzen der Oxyde beider Metalle oder, was noch einfacher ist, des natürlich vorkommenden Chromeisenerzes mit Kohle im Tiegel dar. Bei Benutzung des Chromeisenerzes muss dieses mit geeigneten Körpern beschickt werden, welche die fremden Beimengungen desselben verschlacken; Percy empfiehlt für diesen Zweck auf 100 Thl. Erz eine Mischung von 100 Thl. bleifreien Glases und 40 Thl. Borax. Auch im Hochofen hat man zu Terre-Noire in Frankreich Eisenchrom dargestellt. [1])

Man benutzt diese Legirungen, um durch Zusatz beim Stahlschmelzen einen chromhaltigen Stahl — den im Handel vorkommenden Chromstahl — darzustellen.

Ein Chromgehalt erhöht ausserordentlich die Härte des Eisens. Eben dieser Eigenschaft halber fügt man dem Stahle Chrom zu, wenn sein Härtegrad gesteigert werden soll, ohne dass der Kohlenstoffgehalt jenes Maass erreicht, wo die Schmiedbarkeit, sowie die Schweissbarkeit nur noch gering ist, und auch die Festigkeit schon abnimmt. Verhältnissmässig kleine Mengen Chrom rufen schon eine bedeutende Härtesteigerung hervor; ein Stahl mit 0.3 Proc. Chrom ist ganz bedeutend härter als ein chromfreier mit demselben Kohlenstoffgehalte.

Mit dem Chromgehalte steigert sich aber auch bis zu einer gewissen Grenze desselben in beachtenswerther Weise die Festigkeit des Stahles, ohne dass die Zähigkeit in dem Maasse beeinträchtigt wird, als es durch einen die gleiche Festigkeit hervorrufenden Kohlenstoffgehalt der Fall sein würde. Chromstahl mit 0.5 Proc. Chrom und 0.91 Proc. Kohle, welcher auf meine Veranlassung in der Gussstahlfabrik zu Döhlen dargestellt und untersucht wurde, besass eine Zerreissungsfestigkeit von 86.9 kg per qmm bei 15.7 Proc. Längenausdehnung; nach Rolland soll Chromstahl aus der Gussstahlfabrik zu Brooklyn eine Festigkeit von 115—140 kg per qmm besitzen. Man hat aus diesem Grunde chromhaltiges Eisen für Constructionstheile empfohlen, welche auf starke Belastungen in Anspruch genommen sind, und die Mississippibrücke in St. Louis soll thatsächlich aus solchem Materiale gebaut sein, obschon die Kosten von wirklich chromhaltigem Eisen oder Stahl in allen Fällen beträchtlich höher sein müssen als die des gewöhnlichen chromfreien.

Jene Grenze des Chromgehaltes aber, bei deren Ueberschreiten die Festigkeit nicht mehr zu- sondern abnimmt und eine grosse Sprödigkeit an die Stelle der Zähigkeit tritt, ist bald erreicht. Zuerst zeigt sich dieser Einfluss beim Härten des Chromstahles. Bei nur 0.5 Proc. Chromgehalt neben etwa 1 Proc. Kohle ist schon eine grosse Vorsicht beim Härten erforderlich, um das Zerspringen des Stahles zu verhüten; 1 Proc.

---

1) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1879, S. 78.

Chrom dürfte der höchste zulässige Gehalt sein, den man Stahlwaaren, welche gehärtet werden, geben kann.

Noch chromreichere Legirungen zerspringen auch nach langsamer Abkühlung unter dem Hammer in Stücke; eine von mir untersuchte Legirung mit 54.5 Proc. Chrom war so spröde, dass sie sich in der Achatreibschale pulvern liess.

Diese Legirungen haben weisse Farbe und zeigen mitunter, insbesondere bei hohem Chromgehalte, eine eigenthümliche Textur, welche augenscheinlich aus einer Anhäufung zahlreicher nadelförmiger Krystalle hervorgegangen ist und auf welcher gewöhnlich einzelne solcher Krystallnadeln deutlich erkennbar sind. Bei Abnahme des Chromgehaltes wird das Gefüge dichter, nimmt aber in dem Chromstahle ein eigenthümliches feinschuppiges Aeussere an, welches denselben ziemlich deutlich vor anderen Stahlsorten kennzeichnet.

Die Schmelztemperatur der Legirung steigt mit dem Chromgehalte.

Ob durch den Chromgehalt ein Einfluss auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff ausgeübt wird, ist bislang nicht mit Sicherheit erwiesen. In der von mir untersuchten, oben erwähnten Legirung mit 54.5 Proc. Chrom fand ich nur 0.43 Proc. Kohlenstoff, in einer andern mit 14.4 Proc. Chrom 2.5 Proc. Kohle. Wenn sich hieraus auf eine Abminderung jenes Sättigungsvermögens schliessen lässt, so darf andererseits nicht unerwähnt bleiben, dass nach Rolland zu Unieux Eisenchrom mit 67.2 Proc. Chrom bei 5.4 Proc. Kohle, nach Kerpely zu Terre-Noire Eisenchrom mit 25.3 Proc. Chrom, 13.20 Proc. Mangan bei 4.75 Proc. Kohlenstoff dargestellt wird, was auf den gerade entgegengesetzten Einfluss zu deuten scheint. Da die von mir untersuchten Legirungen im Tiegel dargestellt waren, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass es ihnen überhaupt an Gelegenheit zur Aufnahme grösserer Mengen Kohlenstoff gefehlt habe; doch kann auch der Mangangehalt der zu Terre-Noire dargestellten Legirung die Ursache ihres höheren Kohlenstoffgehaltes gewesen sein.

12. Eisen und Wolfram.

Eisenwolframlegirungen werden zu gleichem Zwecke als Eisenchromlegirungen dargestellt, d. h. um als Zusatz bei der Stahlerzeugung benutzt zu werden, sofern die Aufgabe vorliegt, besonders harte Stahlsorten für bestimmte Zwecke darzustellen.

Schon im vorigen Jahrhunderte wurden durch die Gebrüder d'Elhuyar Legirungen des Wolframs mit Eisen und anderen Metallen dargestellt, ohne dass jedoch eine weitere Anwendung davon gemacht worden wäre[1]; später untersuchte Berthier etwas eingehender die Eigenschaften dieser Legirungen[2]; in grösserem Maassstabe werden sie zu dem erwähnten Zwecke seit etwa 1855 gewonnen.[3]

Man benutzt für die Herstellung der Eisenwolframlegirungen den natürlich vorkommenden Wolframit, dessen Zusammensetzung der Formel

---

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, I, S. 254.
2) Traité des essais par la voie sèche, tome II, p. 215 und 344.
3) Berg- und hüttenm. Ztg. 1859, S. 275.

$Fe_2 Mn_3 W_5 O_{20}$ entspricht; oder auch Scheelit von der Zusammensetzung $CaWO_4$. Das Erz wird zur Austreibung des Schwefels und Arsens geröstet, ausgelaugt und hierauf mit Kohle im Tiegel geschmolzen. Auch im Hochofen zu Terre-Noire hat man nach Kerpely solche Legirungen erzeugt[1]; der Bedarf an denselben ist jedoch keinesfalls so gross, um einen dauernden Hochofenbetrieb darauf zu führen.

Von dem Mangangehalte des Wolframits geht unvermeidlicher Weise ein Theil in die Legirung mit über, sofern man nicht zuvor eine Trennung der Metalle auf chemischem Wege vornimmt; da jedoch dieser Mangangehalt der Verwendung der Legirung nicht gerade nachtheilig ist, so sieht man häufig von einem solchen, immerhin kostspieligen Verfahren ab, und die betreffenden Legirungen enthalten alsdann neben Wolfram eine gewisse Menge Mangan; mitunter ist ihr Mangangehalt sogar so beträchtlich, dass eine absichtliche Anreicherung desselben stattgefunden zu haben scheint.

Mit dem Wolframgehalte steigt ausserordentlich die Schmelztemperatur der Legirungen und aus diesem Grunde stellt man nur selten reichere Legirungen als mit 40 Proc. Wolfram dar. Eine von mir untersuchte Legirung aus Hannover enthielt 29.12 Proc. Wolfram, 67.93 Proc. Eisen, 1.17 Proc. Kohle, 0.61 Proc. Silicium und nur unbedeutende Mengen Mangan; ein zu Terre-Noire im Hochofen dargestelltes Wolframeisen enthielt nach Kerpely 24.25 Proc. Wolfram, 30.00 Proc. Eisen, 41.50 Proc. Mangan, 5.65 Proc. Kohle, 0.14 Proc. Phosphor. Der hohe Kohlenstoffgehalt der letzteren Legirung ist vermuthlich nicht sowohl durch den Wolframgehalt als vielmehr durch den hohen Mangangehalt bedingt.

Legirungen mit solchem Wolframgehalte sind weiss, hart, spröde. Die Härte aber, welche der Wolframgehalt dem Stahle verleiht, ist nicht so bedeutend als die durch die gleiche Menge Chrom erzeugte; während daher der Chromgehalt des Chromstahles, wie erwähnt, selten über 1 Proc. hinausgeht, pflegt der Wolframstahl 2—5 Proc. Wolfram zu enthalten und mitunter hat man den Wolframgehalt bis auf 9 Proc. gesteigert. Auch der Kohlenstoffgehalt ist mitunter beträchtlich, wodurch allerdings die Herstellung des Stahles erleichtert, die spätere Verarbeitung aber erschwert wird.[2]

Beispiele.

	Kohlenstoff	Silicium	Wolfram	Mangan
Bochumer Wolframstahl, von mir untersucht .	1.43	0.19	1.94	0.44
Steirischer „ „ „ „ .	1.20	0.21	6.45	0.35
Englischer „ „ „ „ .	1.70	0.82	8.25	1.26
Desgl. Wolframstahl, von Gintl untersucht .	0.38	0.76	8.74	2.48
Desgl. „ „ Heeren „ .	0.42	0.76	8.81	2.57

1) Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1879, S. 78.

2) Durch den Kohlenstoffgehalt wird die Schmelztemperatur erniedrigt, während sie durch einen die gleiche Härte hervorrufenden Mehrbetrag an Wolfram erhöht werden würde; die Schmiedbarkeit aber nimmt mit zunehmendem Kohlenstoffgehalte ab.

Jene Stahlsorten mit etwa 8 Proc. Wolfram sind nun freilich so hart, dass sie auch im ungehärteten Zustande nicht mehr von der härtesten Feile angegriffen werden und ohne Schwierigkeit Glas ritzen. Mit der Härte aber nimmt auch die Sprödigkeit zu; eine Härtung des wolframreichen Stahles ist überhaupt kaum oder doch nur mit allergrösster Vorsicht möglich, wenn man die Entstehung von Rissen vermeiden will. Für feinere Werkzeuge mit dünnen scharfen Schneiden, welche leicht ausspringen, ist deshalb Wolframstahl nicht zu gebrauchen; mit Vortheil aber wird er zur Herstellung von Drehstählen und ähnlichen Werkzeugen für Bearbeitung harter Metalle benutzt, wobei man den Schneiden des Werkzeugs eine Zuschärfung von nicht erheblich weniger als 90 Grad giebt und einer künstlichen Härtung gar nicht bedarf, sofern der Wolframgehalt ausreichend hoch ist.

Die Zerreissungsfestigkeit des Eisens (Stahles) wird durch einen Wolframgehalt, dessen Maass jedoch eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, beträchtlich gesteigert; der oben erwähnte Steirische Wolframstahl mit 6.45 Proc. Wolfram besass eine Festigkeit von 134 kg per qmm; aber die stattfindende Längenausdehnung vor dem Bruche betrug nur $^3/_4$ Proc., ein Beweis, wie sehr auch die Sprödigkeit gesteigert war.

13. Eisen und Arsen oder Antimon.

Die Legirungen zwischen Eisen und Arsen verhalten sich in mancher Beziehung ähnlich wie diejenigen zwischen Eisen und Schwefel. Beide Körper legiren sich leicht und in allen Verhältnissen. Durch einfache Erhitzung selbst bis zur Weissgluth lässt sich aus diesen Legirungen der Arsengehalt nicht vollständig austreiben; beim oxydirenden Rösten des in den Erzen mitunter auftretenden Arsenkieses aber hinterbleibt, wie schon auf S. 188 erörtert wurde, ein Theil des Arsens als arsensaures Eisen, welches beim reducirenden Schmelzen des gerösteten Erzes wieder zu Arseneisen reducirt werden kann. Ob andere Metalle dem Eisen den Arsengehalt entziehen und in die Schlacke führen können, wie es hinsichtlich des Schwefels durch das Mangan geschieht, scheint bislang nicht erforscht zu sein. Thatsächlich finden sich in einzelnen Eisensorten kleine Mengen Arsen, die jedoch sehr selten bedeutend genug sind, um Einflüsse auf die Eigenschaften des Eisens auszuüben.

Einen grösseren Arsengehalt hat man mitunter in Eisensorten gefunden, die aus aussereuropäischen Ländern stammen, insbesondere in Geschossen. In Kanonenkugeln aus Algier, welche von den Franzosen im dortigen Arsenal vorgefunden wurden, fand Berthier 9.8 Proc., in anderen sogar 27.0 Proc. Arsen; in einer Kanonenkugel aus Sinope wurde in Percy's Laboratorium 16.20 Proc. Arsen gefunden.[1])

Vermuthlich sind diese Geschosse unmittelbar durch Schmelzen von Arsenkies hergestellt, wozu der Umstand, dass ein so beträchtlicher Arsengehalt die Schmelztemperatur des Eisens erheblich abmindert, die erste Veranlassung gegeben haben wird. Sie zeigten weisse Bruchfläche mit strahligem Gefüge und waren sehr hart und spröde.

---

1) Annales des mines, série III, tome XI, p. 501; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 1, S. 98.

Das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff wird durch einen Arsengehalt ebenso wie durch Schwefel abgemindert; schmiedbares Eisen wird durch einen Arsengehalt roth- und kaltbrüchig.

Sehr kleine Mengen Arsen hat man mitunter wohl absichtlich solchem Roheisen zugesetzt, welches für Herstellung sogenannten Hartgusses bestimmt war, d. h. für Gusswaaren, welche durch Eingiessen des Eisens in eiserne Formen eine weisse harte Kruste bei grau bleibendem Kerne erhalten sollen.

Ganz ähnliche Einflüsse als durch Arsen werden durch Antimon auf die Eigenschaften des Eisens geübt. Die Schmelztemperatur sinkt, das Eisen wird hart, spröde, roth- und kaltbrüchig. Glücklicherweise findet sich nur sehr selten Antimon in den Eisenerzen in solcher Menge, dass ein nachtheiliger Einfluss davon zu befürchten stände.

14. Eisen und Titan, Aluminium, Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium.

Der grösste Theil der in manchen Eisenerzen enthaltenen Titansäure geht wegen der Schwerreducirbarkeit des Titans bei der Verhüttung der Erze in die Schlacke, die Schmelzbarkeit derselben in der früher erwähnten Weise (S. 153) beeinflussend; und es erklärt sich hieraus, dass die aus solchen Erzen erblasenen Eisensorten selten mehr als Spuren von Titan enthalten. Die Anwesenheit der Titansäure in den Erzen ist daher wegen des erwähnten Einflusses auf die Schlacke wichtiger als wegen etwaiger unmittelbarer Einwirkung des Titangehaltes auf das erfolgende Eisen.

Auch durch reducirendes Schmelzen von Titansäure mit Eisen oder Eisenoxyden und Kohle im Tiegel ist es nur in einzelnen Fällen geglückt, titanhaltiges Eisen darzustellen. Sefström erhielt in einem derartigen Falle ein sehr hartes aber schmiedbares Eisen mit 4.78 Proc. Titan.

Erwähnenswerth ist eine eigenthümliche Verbindung des Titans, welche in Eisenhochöfen nach dem Ausblasen derselben theils in Form kupferrother würfelförmiger, metallisch glänzender Krystalle, theils als rother Ueberzug sogenannter Eisensauen angetroffen wird. Nach Wöhler's Untersuchung bestehen dieselben aus Cyanstickstofftitan von der Formel $Ti_5 C N_4$ und sind nach Zincken in sehr hoher Temperatur flüchtig.

Aluminium wird aus thonerdereicher Schlacke in hoher Temperatur mitunter in kleinen Mengen reducirt und legirt sich mit dem Eisen. Mrázek erhielt beim Schmelzen von Eisendraht mit Natrium, Quarz und Kryolith ($Na_6 Al_2 F_{12}$) eine Legirung bestehend aus 91.59 Proc. Eisen, 2.30 Proc. Aluminium, 5.95 Proc. Silicium, 0.16 Proc. Kohlenstoff; in geringerer Menge ist Aluminium auch in einzelnen Roheisensorten gefunden worden. Gruner z. B. fand in einem Roheisen von Champigneulle 0.50 Proc. Aluminium bei 2.26 Proc. Silicium und 2.30 Proc. Kohlenstoff.[1]) Immerhin sind diese Fälle nicht häufig, und eine besondere Einwirkung des geringen Aluminiumgehaltes auf die Eigenschaften des Eisens nicht beobachtet.

1) Annales des mines, série VII, tome XV, p. 135.

Durch Zusammenschmelzen der Metalle oder durch Schmelzen von Aluminiumchlorid mit Eisen, Kalk und Kohle lassen sich Legirungen mit beliebigem Aluminiumgehalte darstellen, welche jedoch eine technische Anwendung nicht gefunden haben. Deville, sowie Calvert und Johnson, welche solche Legirungen darstellten, beschreiben sie als ausserordentlich hart und spröde.

Calcium und Magnesium legiren sich schwierig oder gar nicht mit dem Eisen. Da ausserdem eine Reduction derselben aus ihren Oxyden durch Kohle nicht möglich ist, so lässt sich annehmen, dass, wo diese Metalle im Eisen gefunden wurden, sie nicht Bestandtheile des Eisens sondern der dem Eisen beigemengten Schlacke bildeten.[1]) Ebenso wie Calcium und Magnesium verhalten sich Barium und Strontium.

Kalium und Natrium dagegen sind durch Kohle reducirbar und legiren sich — wie wenigstens hinsichtlich des Kaliums mit Bestimmtheit durch Gay-Lussac nachgewiesen worden ist — mit dem Eisen. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass sehr kleine Mengen beider Metalle bei der Eisendarstellung im Hochofen reducirt und mit dem Eisen legirt werden können.[2]) Einen merkbaren Einfluss auf die Beschaffenheit des Eisens aber besitzen diese kleinen Mengen der genannten Metalle nicht.

15. Eisen und Zinn, Blei, Zink.

Mit Zinn lässt sich Eisen ohne Schwierigkeit legiren und wird dadurch hart, spröde, rothbrüchig. Der in einzelnen seltenen Fällen in den Eisenerzen auftretende Zinngehalt ist jedoch zu unbedeutend, um einen Einfluss in dieser Beziehung üben zu können.

Blei findet sich als eingesprengter Bleiglanz nicht selten in Eisenerzen und wird mit dem Eisen reducirt. Dass jedoch das Blei sich schwierig mit dem Eisen legire, wurde schon oben hervorgehoben. Die Folge davon ist, dass das reducirte Blei sich vermöge seines grösseren specifischen Gewichtes von dem Eisen sondert und getrennt von demselben gewonnen werden kann, ein Verfahren, welches thatsächlich auf verschiedenen Eisenwerken in Anwendung ist. Gewöhnlich enthält das Blei Silber, welches sich ebenfalls schwierig mit dem Eisen, sehr leicht dagegen mit dem Blei legirt und später von diesem geschieden wird. Auf verschiedenen oberschlesischen Eisenwerken bildet der Erlös für das solcherart gewonnene silberhaltige Blei einen nicht unwichtigen Theil des Gesammtertrages des Werkes.

Zink bildet ebenfalls einen nicht seltenen Begleiter der Eisenerze und wird beim Verhütten derselben reducirt. Die geringe Legirbarkeit zwischen Eisen und Zink einerseits und die Flüchtigkeit des Zinks in hohen Temperaturen andrerseits bewirken nun aber, dass das reducirte Zink in solchen Fällen mit dem Gasstrome davon geführt wird, um dann später bei der Berührung mit oxydirenden Gasen — freiem Sauer-

---

1) Fresenius fand im Müsener Spiegeleisen 0.045 Proc. Magnesium und 0.091 Proc. Calcium, ausserdem aber Kieselsäure und Sauerstoff. Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 2, S. 762; Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 42.

2) Fresenius fand in dem erwähnten Spiegeleisen 0.063 Proc. Kalium und Spuren Natrium.

stoff oder Kohlensäure — wieder zu Zinkoxyd oxydirt zu werden. In den Eisenhochöfen, welche zinkische Erze verhütten, setzt sich dieses Zinkoxyd, vermischt mit kleineren Mengen metallischen Zinks und fremden Körpern in dem oberen kälteren Theile des Ofenschachtes rings herum an den Wänden in immer dicker werdender Schicht fest und bildet hier den sogenannten Zinkschwamm, welcher von Zeit zu Zeit losgebrochen werden muss, damit er nicht eine Verstopfung des Ofens herbeiführe, und dann auf den Zinkhütten auf Zink verarbeitet wird.

In dem Eisen, welches aus zinkhaltigen Erzen erzeugt wurde, ist kaum jemals mehr als eine Spur Zink gefunden worden. Dennoch ist es eine den Eisengiessern bekannte, von mir selbst mehrfach beobachtete Thatsache, dass graues Gusseisen, dem man im geschmolzenen Zustande Zink zusetzt, hart, zum Weisswerden geneigt wird. Wenn also in diesem Falle eine Aufnahme von Zink durch das Eisen thatsächlich nicht stattfindet, so lässt sich jene Veränderung nur auf eine mittelbare Einwirkung des Zinks, insbesondere eine Ausscheidung von Silicium in irgend einer Vereinigung mit dem zugesetzten Zink, zurückführen. Chemische Untersuchungen hierüber liegen bislang nicht vor.

Kleinere Mengen Eisen werden dagegen von grösseren Mengen Zink ohne Schwierigkeit gelöst. Auf dem Boden eiserner Kessel, in welchen Zink längere Zeit flüssig erhalten wird, bildet sich eine Legirung, deren Schmelzpunkt höher liegt als der des Zinks und welche von Zeit zu Zeit entfernt werden muss, damit sie nicht die Wärmeübertragung an das Zink hindere. Sie besitzt grauweisse Farbe, ein grossblättriges Gefüge und pflegt neben Zink etwa 4 Proc. Eisen und kleinere Mengen Kohlenstoff zu enthalten.[1])

16. Eisen und Gase (Wasserstoff, Kohlenoxyd, Stickstoff).

Seitdem Graham zuerst die Beobachtung machte, dass viele Metalle die Eigenschaft besitzen, Gase, insbesondere Wasserstoffgas, aufzunehmen, sich gewissermaassen mit denselben legirend (wie sich auch Kupfer mit gasförmigem Zink legirt) und sie beim Erhitzen im luftleeren Raume wieder zu entlassen, ist dieses Verhalten der Gegenstand mannigfacher Untersuchungen gewesen.

Für den Eisenhüttenmann ist die Fähigkeit des Eisens, unter bestimmten Verhältnissen Gase zu lösen und unter geänderten Verhältnissen wieder zu entlassen, nicht ohne Wichtigkeit. Zwar beeinflussen die Gase, so lange sie im Eisen wirklich gelöst sind, d. h. feste, beziehentlich (im geschmolzenen Eisen) flüssige Gestalt angenommen haben, nicht merklich die Eigenschaften des Eisens, da eine dem Rauminhalte nach schon recht bedeutende Menge Gas, wenn dasselbe mit dem Eisen sich legirt, doch immerhin nur einen sehr unbedeutenden Procentgehalt von dem Gewichte des Eisens ausmacht; wohl aber können die Gase, wenn sie durch Veränderungen in der Temperatur oder der chemischen Zusammensetzung des Eisens oder durch sonstige Vorkommnisse veranlasst werden, aus ihrer Legirung mit dem Eisen auszuscheiden und wieder Gasform

---

1) Eine von mir untersuchte derartige Legirung enthielt: Eisen 4.035, Kohlenstoff 0.327, Zink 95.638 Proc.

anzunehmen, den Verlauf dieses oder jenes Processes in oft sehr störender Weise beeinflussen.

Besonders ist dieses der Fall, wenn die Gasausscheidung innerhalb geschmolzenen Eisens stattfindet. Nicht allein ist mitunter ein lebhaftes Aufwallen des flüssigen Metalls, bei welchem Theilchen desselben umhergeschleudert werden und Verletzungen der Arbeiter hervorrufen können, die Folge davon[1]); setzt sich das Entweichen der Gase bis zum beginnenden Erstarren des Eisens fort, so können die zuletzt gebildeten Gasblasen nicht mehr aus dem bereits halbstarren Metalle austreten, sie werden in demselben zurückgehalten und sind später auf der Bruchfläche des Eisenstückes als Löcher von rundlicher, birnenförmiger oder wurmförmiger Gestalt, theils mikroskopisch klein, theils bis zu Wallnussgrösse oder darüber erkennbar. Es kommt vor, dass ein ganzes Eisenstück von solchen Gasblasen durchsetzt ist. Die Verwendbarkeit des Eisens aber wird durch dieselben oft erheblich beeinträchtigt.[2])

Dass flüssiges Eisen fähig sei, Gase zu lösen und unter geänderten Verhältnissen ganz oder theilweise wieder zu entlassen, lehrt häufig schon der Augenschein. In nicht seltenen Fällen ist die ganze Oberfläche geschmolzenen Eisens mit einer Schicht brennender Gase bedeckt, welche offenbar aus dem Eisen entwichen waren, und sich sofort entzündeten; das Aeussere dieser Flammendecke aber weist gewöhnlich auf die Anwesenheit reichlicher Mengen von Wasserstoffgas in dem Gasgemenge hin. In anderen Fällen findet ein förmliches Spratzen des Metalls statt, wobei Theile desselben durch die heftig entweichenden Gase oft weit umhergeschleudert werden.

Verschiedene Umstände können das Entweichen von vorher gelöst gewesenen Gasen herbeiführen.

War das Metall in einer stärker gepressten Gasatmosphäre geschmolzen, wie es z. B. im Eisenhochofen der Fall ist, und es tritt nun aus dem Schmelzofen aus, so verringert sich mit dem Gasdrucke auch das Lösungsvermögen für Gase, und ein Theil derselben entweicht.[3])

Vielfach giebt auch die Bewegung des fliessenden Metalls Veranlassung zum Entlassen von gelösten Gasen.

Hauptsächlich aber ist es der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand, welcher eine reichliche Ausscheidung der gelösten Gase

---

1) Beim Einwerfen kalter Eisenstücke in geschmolzenes Metall entstehen oft gefährliche Explosionen, offenbar infolge des plötzlichen Entweichens eines von dem kalten Eisen gelösten Gases.

2) Nicht zu verwechseln sind diese durch Gasblasen gebildeten Löcher mit denjenigen Hohlräumen, welche infolge der Schwindung, d. h. der allmählichen, von aussen nach innen fortschreitenden Volumenverkleinerung eines gegossenen Metallblocks beim Erkalten sich an derjenigen Stelle zu bilden pflegen, wo das letzte flüssige Metall sich befand. Jene Gasblasen haben glatte oder doch unregelmässig gestaltete Wandflächen, die Wände der Schwindungshohlräume dagegen pflegen mit krystallinischen Bildungen bedeckt zu sein. Vergl. hierüber: A. Ledebur, Das Roheisen, 2. Aufl., S. 35; A. Ledebur, Verarbeitung der Metalle auf mechanischem Wege, S. 99.

3) Man vergegenwärtige sich, dass auch andere Flüssigkeiten, z. B. Wasser, um so reichlichere Mengen von Gasen zu lösen vermögen, einem je höheren Drucke sie ausgesetzt sind; und dass sie ebenfalls die gelösten Gase wieder entlassen, wenn der Druck aufhört (Beispiel: das Oeffnen einer mit kohlensaurem Wasser gefüllten Flasche).

mit sich zu bringen pflegt, jedenfalls infolge des Umstandes, dass das erstarrte Metall eine geringere Fähigkeit als flüssiges besitzt, Gase — die in Legirung mit dem ersteren natürlich ebenfalls feste Form annehmen müssten — in Lösung zu behalten. Der nämliche Vorgang lässt sich auch beim Erstarren anderer gashaltiger Flüssigkeiten beobachten und das gewöhnliche Eis ist aus demselben Grunde oft massenhaft mit Gasblasen durchsetzt, die im Augenblicke des Gefrierens aus ihrer Lösung im Wasser ausschieden.

Je rascher dieses Starrwerden des flüssigen Eisens vor sich geht, desto stürmischer wird, sofern die Menge der vorher gelösten Gase die nämliche war, die Gasentwickelung eintreten. Deshalb zeigt sie sich vorzugsweise deutlich, wenn ein Eisen mit hoher Schmelztemperatur — also insbesondere ein kohlenstoffarmes schmiedbares Eisen — rasch abgekühlt wird, wie es beispielsweise beim Eingiessen in eiserne Formen unvermeidlich ist. Ein heftiges Kochen des flüssigen Metalls tritt ein, und besondere Maassregeln sind gewöhnlich erforderlich, zu verhüten, dass nicht ein grosser Theil des Metalls aus der Form wieder herausgeschleudert werde.

Die Erscheinungen, welche verschiedene Eisensorten im flüssigen Zustande darbieten, lassen jedoch auch schliessen, dass die chemische Zusammensetzung des Eisens die Fähigkeit desselben, Gase zu lösen und wieder zu entlassen, nicht unerheblich beeinflusse. Manganreiche Legirungen — Spiegeleisen und Ferromangane — sind im flüssigen Zustande regelmässig mit einer dichten Schicht brennender Gase bedeckt, die nicht selten einen weissen, grösstentheils aus Kieselsäure bestehenden Rauch ausstösst, ein Vorgang, der darauf hinweist, dass auch flüchtige Siliciumverbindungen davon geführt werden. Eine farblos brennende Gasschicht, aber ohne jenen starken weissen Rauch, zeigt auch flüssiges schmiedbares Eisen; in weit geringerem Maasse dagegen siliciumhaltiges manganarmes Roheisen. Nur so lange das letztere stark überhitzt ist, sind an der Oberfläche desselben kleinere Mengen brennender Gase bemerkbar; lässt man es abkühlen, so verschwindet sehr bald die Gasschicht, und nur ab und an sieht man noch eine vereinzelte Gasblase aus dem flüssigen Metallbade aufsteigen.

Es ist ferner erwiesen, dass die Gasentwickelung beim Giessen flüssigen schmiedbaren Eisens geringer ausfällt, wenn man vor dem Giessen dem Eisen etwas siliciumreiches Material zusetzte.

Die eigentlichen Ursachen für dieses abweichende Verhalten verschieden zusammengesetzter Eisensorten sind bislang mit Sicherheit noch nicht erforscht worden. Müller glaubt, dass ein Siliciumgehalt flüssigen Eisens die Fähigkeit desselben erhöhe, Gase zu binden, d. h. mit den gelösten Gasen zu erstarren, ohne dass sie wieder Gasform annehmen[1]), eine Ansicht, die zwar nicht unwahrscheinlich ist, doch aber noch wissenschaftlicher Bestätigung bedarf.

Nicht immer jedoch, wo wir Gase aus geschmolzenem Eisen entweichen sehen, braucht dieser Vorgang die Folge einer vorausgegangenen Auflösung der Gase im Eisen zu sein. Auch chemische Reactionen,

---

1) Glaser's Annalen, Bd. X, S. 211.

durch welche Gase neu gebildet werden, können diesen Vorgang hervorrufen.

Besonders häufig tritt dieser Fall ein, wenn flüssiges kohlenstoffhaltiges Eisen Einwirkungen unterworfen wird, welche eine Oxydation des Kohlenstoffs zur Folge haben. Kohlenoxyd entsteht und entweicht, bei starker Entwickelung ein entsprechend lebhaftes Aufwallen des geschmolzenen Metalls hervorrufend.

Nicht immer, wo eine Gasentwickelung bemerkbar ist, lässt sich deshalb mit Sicherheit sagen, ob sie durch Entweichen gelöst gewesener Gase oder durch Neubildung von Gasen hervorgerufen worden sei. Mancher diesbezügliche Vorgang ist noch dunkel, obgleich die forschende Wissenschaft der letzten Jahre auch auf diesem für den Eisenhüttenmann wichtigen Gebiete sich namhafter Erfolge erfreuen konnte.

Troost und Hautefeuille[1]) stellten eine Reihe von Untersuchungen an, indem sie theils verschiedene Eisensorten im luftleeren Raume glühten und die dabei entweichenden Gase analysirten, theils auch, indem sie bestimmte Gase auf Eisen wirken liessen und später die hierbei von dem Eisen absorbirte Gasmenge ermittelten.

Vier Eisencylinder verschiedener Beschaffenheit, sämmtlich 500 g schwer, bei 800° C., im luftleeren Raume 190 Stunden lang erhitzt, entliessen folgende Gase:

	Spiegeleisen (manganhaltig)	Holzkohlen-gusseisen	Gussstahl, geschmiedet	Weiches Schmiedeeisen (Schweisseisen)
Kohlensäure . . .	0.0 ccm	0.6 ccm	0.05 ccm	2.2 ccm
Kohlenoxyd . . .	0.0 „	2.8 „	1.40 „	10.8 „
Wasserstoff . . .	27.0 „	12.3 „	0.50 „	4.4 „
Stickstoff	2.5 „	1.0 „	0.25 „	1.1 „
	29.5 ccm	16.7 ccm	2.20 ccm	18.5 ccm

Das manganhaltige Spiegeleisen lieferte mithin die bei weitem grösste Gasmenge; und zwar bestand dieses Gas vorwiegend aus Wasserstoffgas, während aus dem schmiedbaren Eisen vorwiegend Kohlenoxyd erfolgte. Hierzu muss allerdings bemerkt werden, dass jene Kohlenoxydentwickelung aus dem weichen Schmiedeeisen ebenso gut die Folge einer Gasbildung als einer Entlassung gelöst gewesenen Gases gewesen sein kann. Alles Schweisseisen enthält mechanisch eingemengte eisenoxydreiche Schlacke; beim Glühen wirkt dieselbe oxydirend auf den Kohlenstoffgehalt des Eisens, und Kohlenoxyd entsteht.

Nach 48stündigem Glühen bei 800° C. Temperatur und unter einem Gasdrucke von 770 mm Quecksilbersäule im Wasserstoffstrome und späterem Glühen im Vacuum erhielten die genannten Forscher beim:

	Spiegel-eisen	Holzkohlen-gusseisen	Gussstahl	Weiches Schmiedeeisen
Kohlensäure	nicht ermittelt	0.0 ccm	0.0 ccm	0.0 ccm
Kohlenoxyd		1.1 „	0.9 „	0.6 „
Wasserstoff		44.0 „	6.4 „	10.0 „
Stickstoff		1.5 „	0.5 „	3.3 „
		46.6 ccm	7.8 ccm	13.9 ccm

1) Vergl. Literatur.

Unter ganz denselben Verhältnissen im Kohlenoxydgasstrome geglüht enthielten die Eisensorten:

	Spiegeleisen	Holzkohlengusseisen	Gussstahl	Schmiedeeisen
Kohlenoxyd	nicht ermittelt	14.7 ccm	2.0 ccm	13.7 ccm
Wasserstoff		1.5 „	0.8 „	0.2 „
Stickstoff		0.7 „	0.4 „	0.1 „
		16.9 ccm	3.2 ccm	14.0 ccm

Aus allen diesen Versuchen ergiebt sich, dass alles schlackenfreie Eisen (Spiegeleisen, Holzkohlengusseisen, Gussstahl) weit grössere Mengen Wasserstoff als andere Gase nicht alleim beim Erstarren zurückzuhalten, sondern auch später wieder aufzunehmen vermag. Da 500 g Eisen einen Rauminhalt von ca. 65 ccm besitzen, so war das Verhältniss der gefundenen Gasmenge zu dem räumlichen Inhalte des Eisens

	Ursprünglich	Nach dem Glühen in Wasserstoff	Nach dem Glühen in Kohlenoxyd
beim Spiegeleisen	45 Proc.	n. best.	n. best.
„ Holzkohlengusseisen . .	25 „	72 Proc.	26 Proc.
„ Gussstahl	3.4 „	12 „	6 „

Beim Schmiedeeisen wurde, wie erwähnt, die Richtigkeit der Ermittelungen zweifellos durch die Anwesenheit von Schlacke getrübt, welche Kohlenoxyd erzeugte[1]); bei dem Gussstahl ist beim Schmieden wohl ein Theil des gelösten oder eingeschlossenen Gases verdrängt worden, während der geschmiedete Stahl auch durch seine grössere Dichtigkeit an der Aufnahme reichlicherer Gasmengen verhindert wurde.

Die Herren Troost und Hautefeuille wiesen fernerhin nach, dass Gusseisen in einem Wasserstoffstrome mit ruhiger Oberfläche flüssig erhalten werden kann; vermindert man aber rasch die Gasspannung, so tritt eine Gasentwickelung ein, wobei Metallkügelchen umhergeschleudert werden; und wenn hierbei zugleich die Temperatur erniedrigt wird, so erstarrt das Metall während der Gasentwickelung und ein förmliches Spratzen wird sichtbar. Enthält das Eisen aber Phosphor oder Silicium, so wird die Erscheinung merklich abgeschwächt; bei siliciumhaltigem Eisen liess sich erst beim Abkühlen im luftleeren Raume ein schwaches Spratzen hervorbringen.

Es lässt sich hieraus entweder schliessen, dass siliciumhaltiges Eisen überhaupt weniger Gas auflöst; oder auch, dass von demselben das gelöste Gas weniger leicht entlassen wird.

Parry fand bei mehreren Versuchen[2]), dass graues Roheisen fähig sei, die zwanzigfache Menge seines eigenen Rauminhaltes Wasserstoffgas aufzunehmen, welches beim Erhitzen im luftleeren Raume in Vermischung mit wechselnden Mengen von Kohlenoxyd wieder abgegeben wird.

---

1) Die Herren Troost und Hautefeuille machen selbst auf diese Reaction zwischen Eisenoxyd und Kohlenstoff aufmerksam (Compt. rend. t. 76, p. 565), setzen aber voraus, dass dieselbe bei der angewendeten Temperatur von 800 Grad C. noch nicht eintrete.

2) Vergl. Literatur.

Fr. C. G. **Müller** ermittelte durch zahlreiche Untersuchungen[1]) die Menge und Zusammensetzung derjenigen Gase, welche nach dem Erstarren des Eisens die Poren und Hohlräume desselben anfüllen, also die eigentliche Veranlassung zu der Entstehung dieser so nachtheiligen, oben erwähnten Hohlräume bilden. Zur Gewinnung dieser vom Eisen eingeschlossenen Gase benutzte Müller einen mit der Spitze nach oben gerichteten Bohrer innerhalb eines mit ausgekochtem Wasser gefüllten Gefässes. Das zu untersuchende Eisenstück wurde in der Spindel einer Bohrmaschine befestigt und unter steter Drehung gegen die Bohrspitze abwärts bewegt, so dass ein durch das Wasser abgeschlossenes Bohrloch entstand, in welchem die beim Zerspanen des Metalls frei werdenden Gase sich oberhalb des Wassers sammeln konnten, um von hier für die Untersuchung entnommen zu werden.

Die solcherart gefundenen Gasmengen betrugen ihrem Rauminhalte nach:

bei einem siliciumreichen, manganarmen Roheisen (englisches Hämatitroheisen)	3.5 Proc.	von dem Rauminhalte des Eisens.
bei verschiedenen manganreicheren Roheisensorten (Bessemerroheisen)	10—35 "	
bei verschiedenen Sorten Flusseisen und Flussstahl (vom Bessemer- und Martinprocesse) ungeschmiedet . . .	14—60 "	
bei geschmiedetem Flussstahl, welcher im ungeschmiedeten Zustande in zwei Proben 14, beziehentlich 17 Proc. Gas ergeben hatte	5.5 "	

Da der Rauminhalt der Poren und Hohlräume, in welchen die Gase eingeschlossen waren und welcher sich annähernd aus dem Rauminhalte des Bohrloches und dem absoluten Gewichte des zerspanten Metalls, dividirt durch das specifische Gewicht des dichten Eisens (7.8), berechnen lässt, in jedem Falle erheblich kleiner war, als die gefundene Menge der Gase, so ergiebt sich, dass dieselben unter Druck in dem Eisen eingeschlossen waren. Müller berechnet diesen Druck im erkalteten Eisenblocke zu 3—8 Atmosphären; da aber die Gase in der Erstarrungstemperatur der untersuchten Eisensorten (durchschnittlich 1400° C.) einen mindestens fünfmal so grossen Raum als im kalten Zustande einnehmen, so würde sich unter Berücksichtigung dieses Umstandes ein von denselben im erhitzten Zustande ausgeübter Druck gleich 15—40 Atmosphären ergeben. Obgleich nun die meisten der untersuchten Eisensorten fest in einer starken Gusseisenform eingeschlossen waren, und hierdurch die Entstehung jenes hohen Druckes eine ausreichende Begründung finden könnte, so liegt doch andererseits die Vermuthung nahe, dass ein grosser Theil der gefundenen Gase erst später aus dem Eisen ausgetreten sei, nachdem infolge der fortschreitenden Abkühlung die Gasspannung in den Poren abgenommen und hierbei die Löslichkeit der Gase im Eisen sich verringert hatte.

Müller's Versuche wurden später von Stead in ganz ähnlicher Weise, jedoch mit stumpferem Bohrer wiederholt, wobei feinere Späne gebildet und demnach auch eine noch grössere Zahl von Poren frei

1) Vergl. Literatur.

gelegt wurden; und es ergab sich hierbei eine noch reichlichere Gasmenge als bei der gröblicheren Zerspanung.[1])

Die Zusammensetzung der Gase zeigte in allen Fällen einen reichlichen Wasserstoffgehalt mit kleineren Mengen Stickstoff und mitunter einer geringen Beimischung von Kohlenoxyd; z. B.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wasserstoff . . .	90.3	81.9	88.8	77.0	92.4	73.4	67.0	52.1	62.2
Stickstoff	9.7	18.1	10.5	23.0	5.9	25.3	30.8	44.0	35.5
Kohlenoxyd . . .	0.0	0.0	0.7	0.0	1.4	1.3	2.2	3.9	2.8.

Nr. 1. Bessemerschienenstahl.
„ 2. Bessemerstahl zu Federn.
„ 3. Bessemerschienenstahl vor Zusatz von Spiegeleisen.
„ 4. Derselbe Stahl nach Zusatz von Spiegeleisen.
„ 5. Dichter Stahl vor dem Schmieden.
„ 6. Dichter Stahl nach dem Schmieden, wobei sich die Gasmenge, wie oben erwähnt, verringert hatte.
„ 7. Martineisen von Bochum.
„ 8. Englisches Hämatitroheisen (manganarm).
„ 9. Roheisen von Georgs-Marienhütte (manganhaltig).

Die Versuche von Troost und Hautefeuille, Parry u. A. lehren uns, dass Gase, insbesondere Wasserstoffgas, vom festen Eisen aufgenommen und im luftleeren Raume wieder entlassen werden können; die Versuche Müller's zeigen uns die Zusammensetzung derjenigen Gase, welche vom flüssigen Eisen gelöst waren und beim Uebergange in den festen Zustand infolge ihrer geringeren Löslichkeit im festen Eisen wieder entlassen wurden. Wie die mitgetheilten Analysen erkennen lassen, bestehen auch diese Gase vorwiegend aus Wasserstoff.

Alle diese Untersuchungen aber lassen die Frage noch unentschieden, ob nicht von dem erstarrten Eisen auch noch Gase festgehalten werden, in wirklicher Legirung mit demselben befindlich, welche auch beim Erhitzen im luftleeren Raume ihre ursprüngliche Gasform nicht wieder annehmen.

Dass eine zuverlässige und umfassende Beantwortung dieser Frage nicht allein wissenschaftlichen sondern auch praktischen Werth besitzen würde, ergiebt sich schon aus dem über den Einfluss eines Siliciumgehaltes auf die Gasentwickelung Gesagten. Die Praxis lehrt und durch die Versuche von Troost und Hautefeuille ist es bestätigt worden, dass ein siliciumhaltiges Eisen im Allgemeinen weniger Gase beim Erstarren entlässt und deshalb dichtere Gussblöcke liefert als ein siliciumfreies; aber es ist unentschieden, ob ersteres, wie Troost und Hautefeuille meinen, überhaupt weniger Gase löst, oder ob es, wie Müller annimmt, die gelösten Gase nicht wieder entlässt. In einzelnen Fällen ist auch die Beobachtung gemacht worden, dass gerade siliciumreiches Eisen reichlich Gase entwickelte[2]); und man war nicht im Stande, eine andere Erklärung dafür zu finden, als dass dem jedesmaligen Siliciumgehalte auch ein bestimmter Sättigungsgrad des erstarrenden Eisens für Gase zukomme, und dass mithin eine Gasentwickelung auch

1) Iron, vol. 17, p. 414.
2) Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1878, S. 313.

beim Erstarren siliciumreichen Eisens eintreten müsse, wenn die vom flüssigen Metalle gelöste Gasmenge jenen Sättigungsgrad überschritten habe.

Eine Beantwortung dieser Frage ist nur durch gewichtsanalytische Untersuchungen der verschiedenen Eisensorten auf ihren Wasserstoff-, Stickstoff- u. s. w. Gehalt zu erreichen, obgleich solche Untersuchungen bei den ausserordentlich geringen Gewichtsmengen, in welchen die Gase im Eisen auftreten, und den mancherlei Fehlerquellen, welche hierbei zu berücksichtigen sind, nicht ohne Schwierigkeit durchführbar sind und ganz besonderer Umsicht bedürfen, wenn ihre Ergebnisse nicht zu Trugschlüssen führen sollen.

Einem Stickstoffgehalte des Eisens, den man in oft recht ansehnlichen Mengen zu finden glaubte[1]), schrieb man in früherer Zeit ganz besondere Einwirkungen auf die Eigenschaften des Eisens zu. Spätere Untersuchungen von Rammelsberg[2]), sowie neuerdings von Allen[3]) haben jedoch zweifellos dargethan, dass die Gewichtsmenge des im technisch dargestellten Eisen vorkommenden Stickstoffs nur eine geringe sein kann und dass eine merkbare Einwirkung desselben auf die Eigenschaften des Eisens nicht zu erwarten ist.

Allen fand bei Untersuchung verschiedener Eisensorten folgende Stickstoffgehalte derselben:

Dünner Eisendraht	0.0123	Proc.
Eisen zu Panzerplatten	0.0131	„
Siemens-Martinstahl mit 0.22 Proc. Kohle	0.0107	„
Gussstahl mit 1.30 Proc. Kohle	0.0172	„
Spiegeleisen mit 3.80 Proc. Kohle und 20 Proc. Mangan	0.0041	„

Da 1 l Stickstoff bei 760 mm Barometerstand und Null Grad Temperatur 1.2544 g wiegt, so würden jenen Untersuchungen zufolge in 1 kg Eisen 32—137 cbm Stickstoffgas gelöst gewesen sein; oder, sofern man das spec. Gewicht des Eisens durchschnittlich zu 7.8 annimmt, würde dasselbe im höchsten Falle die seinem eigenen Volumen gleiche Menge Stickstoff beim Erstarren in Lösung zu behalten, beziehentlich bei späteren Processen (Glühen u. s. w.) aufzunehmen im Stande sein.

Dass übrigens unter gewissen Verhältnissen das Eisen grössere Mengen Stickstoff absorbiren könne, unterliegt nach den darüber angestellten Versuchen kaum einem Zweifel. Beim Glühen metallischen Eisens in Ammoniakgas nimmt dasselbe, wie früher Savart und Desprez[4]) fanden und später Buff[5]) bestätigte, an Gewicht bis zu 11 Proc. zu, während das specifische Gewicht sich verringert und das Eisen spröde wird. In allen diesen Fällen wurde Stickstoff im Eisen gefunden, während nach Frémy's Untersuchungen Wasserstoff nicht mit gelöst wird.[6])

---

1) So z. B. wollte Schafhäutl im weissen Roheisen 0.76 Proc., im Spiegeleisen gar 1.20 Proc. Stickstoff gefunden haben (Philosophical Magazine 1840, vol. 16, p. 44; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde I, S. 65).

2) Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1862, S. 692.

3) Vergl. Literatur.

4) Annales de chimie et de physique, tome 42, p. 122.

5) Liebig's Annalen, Bd. 83, S. 375.

6) Annales de chimie et de physique, tome 83, p. 375.

Beim Glühen des Eisens im reinen und trocknen Stickstoffgas dagegen wird, soweit meine eigenen Beobachtungen reichen, kein Stickstoff aufgenommen.

Wasserstoff wurde von mir durch gewichtsanalytische Bestimmung im festen Eisen in folgenden Gewichtsmengen gefunden:[1])

In Ferromangan mit 70 Proc. Mangan	0.0028 Proc.
„ Siliciumeisen mit 11.29 Proc. Silicium, 2.08 Proc. Mangan, 1.59 Proc. Kohle	0.0028 „
„ Martineisen (gegossen) mit 0.10 Proc. Kohle, 0.14 Proc. Silicium und ohne Mangan . . .	0.0017 „

Da 1 l Wasserstoff bei 760 mm Barometerstand und Null Grad Temperatur 0.0896 g wiegt, so würde bei einem durchschnittlichen specifischen Gewichte des Eisens gleich 7.8 das Ferromangan wie das Siliciumeisen ungefähr die $2^1/_2$ fache Menge seines eigenen Volumens Wasserstoff, das an Mangan, Silicium und Kohlenstoff arme Martineisen dagegen nur die $1^1/_2$ fache Menge seines Volumens Wasserstoff zurückzuhalten fähig sein.

Sauerstoff in Legirung mit dem Eisen findet sich in verschiedenen Eisensorten, welche im flüssigen Zustande der Einwirkung freien Sauerstoffs ausgesetzt waren. Es ist wahrscheinlich, wenn auch nicht mit voller Sicherheit erwiesen, dass dieser Sauerstoffgehalt mit einer äquivalenten Menge Eisen zu Eisenoxydul chemisch vereinigt sei, welches im Eisenbade gelöst ist, wie sich u. a. auch Kupferoxydul im Kupfer löst. Die Anwesenheit einer höheren im Eisen gelösten Oxydationsstufe des Eisens — manche Metallurgen nehmen gelöstes Eisenoxyduloxyd an — ist in Rücksicht auf den grossen Ueberschuss metallischen Eisens sehr unwahrscheinlich, welches im flüssigen Zustande reducirend auf sauerstoffreichere Verbindungen einwirken würde.

Nicht zu verwechseln ist dieser gelöste oder legirte Sauerstoffgehalt mit demjenigen, welcher im Schweisseisen als ein Bestandtheil mechanisch eingemengter Schlacke (S. 6) sich findet. Diese Schlacke, aus Eisensilikaten oder unter Umständen auch aus reinem Eisenoxyduloxyd bestehend, ist dem Schweisseisen um so reichlicher beigemengt, je mehr Gelegenheit zu der Aufnahme derselben bei der Herstellung des Eisens gegeben war und je weniger es später auf mechanischem Wege „raffinirt" d. h. durch Ausquetschen, Walzen oder Hämmern im weissglühenden Zustande von der Schlacke befreit worden war; und der an Eisen gebundene Sauerstoffgehalt derselben geht oft sehr beträchtlich über diejenige Grenze hinaus, welche als das höchste Maass des im Eisen überhaupt löslichen Sauerstoffs betrachtet werden kann.[2])

Dieser grösste Gehalt des im Eisen löslichen Sauerstoffs beträgt, soweit meine eigenen Untersuchungen einen Schluss hierüber zulassen, etwa 0.25 Proc. oder wenig darüber.[3]) In drei Proben sogenannten überblasenen Bessemereisens vom basischen Process aus Hörde, welche vor Spiegeleisenzusatz der Bessemerbirne entnommen wurden, fand ich:

---

1) Stahl und Eisen 1882, S. 591.

2) Vergl. hierüber „Stahl und Eisen" 1882, S. 193.

3) Bender fand allerdings im entkohlten Bessemereisen 0.34 Proc. Sauerstoff; vergl. Dingler's Polyt. Journ., Bd. 205, S. 231.

Kohlenstoff	0.037	0.123	0.050
Silicium	0.001	0.000	0.000
Schwefel	0.059	0.093	0.057
Phosphor	0.038	0.077	0.085
Mangan	0.000	Sp.	0.000
Kupfer	0.046	0.095	0.061
Kobalt, Nickel	0.064	0.140	0.110
Sauerstoff	**0.244**	**0.187**	**0.171**

Ein Stück geschmolzenen Schweisseisens von der Sohle eines Schweissofens, welches nach dem Kaltlegen des Ofens ausgebrochen war, enthielt 0.177 Proc. Sauerstoff neben 0.052 Proc. Kohlenstoff.

In allen diesen Fällen war dem Eisen ausreichende Gelegenheit gegeben, so viel Sauerstoff aufzunehmen, als seinem Sättigungsvermögen für Sauerstoff irgend entsprach. Es ist sogar sehr wahrscheinlich, dass der Sauerstoffgehalt der in dem untersuchten Schweisseisen anwesenden Schlacke ursprünglich noch beträchtlicher war[1]; beim Schmelzen des Eisens aber löste sich in demselben eine solche Menge Eisenoxydul (Sauerstoff) aus der Schlacke auf, als seinem Sättigungsgrade entsprach, und die übrige Schlacke wurde von der sich stets bildenden Schweissofenschlacke aufgenommen.

Es ist leicht erklärlich, dass ein Eisen so lange nicht sauerstoffhaltig sein kann, als es Bestandtheile in grösserer Menge enthält, welche leichter als das Eisen selbst oxydirbar und deren Oxyde im Eisen unlöslich sind. Hierher gehören Kohlenstoff, Silicium, Mangan. Kleinere Mengen dieser Körper, insbesondere des Kohlenstoffs, können allerdings, wie die oben mitgetheilten Analysen nachweisen, auch neben Sauerstoff bestehen; denn je geringer ihre Menge, oder, was dasselbe ist, je stärker ihre Verdünnung im Eisenbade ist, desto unvollkommener können sie auf den vorhandenen Sauerstoff einwirken. Daher ist auch der Sättigungsgrad des Eisens für Sauerstoff von dessem Gehalte an solchen oxydirbaren Körpern abhängig; und wenn die letzteren, insbesondere das Mangan und Silicium, in der Praxis benutzt werden, um durch Zusatz zu sauerstoffhaltigem Eisen diesem den Sauerstoffgehalt zu entziehen, so ist eine ganz vollständige Austreibung des letzteren doch nur durch einen Ueberschuss des Zusatzes zu erreichen. Flusseisen mit 0.1 — 0.2 Proc. Kohle und ebensoviel Mangan kann immerhin noch einige Hundertstel Procent Sauerstoff enthalten.[2]

Wird Kohlenstoff zur Entfernung gelösten Sauerstoffs aus geschmolzenem Eisen benutzt, so entsteht natürlich Kohlenoxyd, welches bei seinem Entweichen ein Aufwallen des Eisens hervorruft, ein Vorgang, welcher bei verschiedenen Processen der Eisendarstellung sich beobachten lässt.

Ein Sauerstoffgehalt von mehr als 0.1 Proc. beeinträchtigt die Schmiedbarkeit des Eisens in Rothgluth, wirkt also ganz ähnlich wie Schwefel und wird deshalb regelmässig in der schon angedeuteten Weise — durch Zusatz von Mangan, Silicium u. s. w. — entfernt. Sauerstoff

---

1) Ein Schweisseisen aus Oberhausen enthielt z. B. 0.5 Proc. Sauerstoff als Bestandtheil eingemengter Schlacke; Stahl und Eisen 1882, S. 197.

2) Analysen solcher Eisensorten: Glaser's Annalen, Bd. X, S. 181.

in Mengen von weniger als 0.1 Proc. dagegen findet sich in übrigens reinen Flusseisensorten nicht selten, ohne, wie es scheint, merklich nachtheilige Einflüsse zu üben.[1])

17. Die Oxydation des Eisens und seiner Begleiter.

Das Rosten und die Einwirkung von Flüssigkeiten auf das Eisen.

Unter Rost im weiteren Sinne pflegt man jedes unter Einwirkung irgend einer Flüssigkeit auf das Eisen entstandene basische, in Wasser unlösliche Eisensalz zu verstehen; im engeren Sinne dagegen bezeichnet man jenes braune, unter Einwirkung der Atmosphärilien entstandene Gebilde des Eisens damit, welches, anfänglich nur auf der Oberfläche bemerkbar, tiefer und tiefer eindringt, bis schliesslich ein ganzes Eisenstück in Rost umgewandelt ist.

Dieses leichte Rosten des Eisens setzt der Verwendung desselben für viele Zwecke nicht geringe Schwierigkeiten entgegen, und Plinius bezeichnet in poetischer Weise den Rost als den Fluch, der auf dem Eisen laste als Vergeltung für die mancherlei Uebelthaten, zu denen es sich in Händen der Räuber und Mörder gebrauchen lasse.

Der Rost besteht, wie bekannt ist, im Wesentlichen aus Eisenoxydhydrat, und hieraus folgt schon, dass er in vollständig trockner Luft nicht entstehen kann; er enthält aber auch kleine Mengen von Kohlensäure und wenigstens Spuren von Ammoniak. Calvert fand in dem Roste der Röhrenbrücke über den Conway 0.900 Proc. kohlensaures Eisen ($Fe\,C\,O_3$), in einem andern 0.617 Proc.

Es lässt sich hieraus folgern, dass die Kohlensäure ebenfalls eine gewisse Rolle bei der Rostbildung zu spielen habe. Deutlicher noch zeigt sich dieser Einfluss derselben, wenn man von zwei Eisenstücken das eine der Einwirkung gewöhnlichen, also kohlensäurehaltigen Wassers, das andere der Einwirkung kohlensäurefreien Wassers aussetzt; das erstere wird rasch sich mit Rost überziehen, das letztere lange Zeit hindurch geschützt bleiben, sofern nicht auch die äussere, stets kohlensäurehaltige Luft Zutritt hatte. Es beruht hierauf der Zusatz von etwas gebranntem Kalk oder einer geringen Menge Alkalien zu Wasser, in welchem Eisengegenstände einige Zeit aufbewahrt werden sollen.

Ist Kohlensäure im Ueberschusse zugegen, der Zutritt freien Sauerstoffs dagegen abgehalten, so entsteht lösliches Carbonat; sobald aber die Luft zu der Lösung tritt, wird jenes zersetzt und unlösliches Eisenoxydhydrat gebildet, ein Vorgang, der für manche Erzablagerungen die Veranlassung bildete.

---

1) Die Bezeichnung „verbranntes Eisen“ oder „verbrannter Stahl“ für solches schmiedbare Eisen, welches infolge einer Erhitzung bis nahe zum Schmelzpunkte und darauf folgender ruhiger Abkühlung ein grobkörniges Gefüge erhalten, an Festigkeit und Schmiedbarkeit eingebüsst hat, legt die Vermuthung nahe, dass die erwähnten übelen Eigenschaften solchen Eisens durch die Aufnahme von Sauerstoff hervorgerufen seien. Neuere Untersuchungen haben indess dargethan, dass diese Sauerstoffaufnahme nicht immer die Ursache der Verschlechterung und jene Bezeichnung „verbranntes Eisen“ daher auch nicht im eigentlichen Sinne richtig ist. Vergl. die Abhandlung des Verfassers: „Das Verbrennen des Eisens und Stahles“ im Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1883.

Bei der gemeinschaftlichen Einwirkung der Kohlensäure und des Wassers auf das Eisen wird durch Zerlegung des Wassers Wasserstoff gebildet, welcher sich mit dem Stickstoff der Luft zu Ammoniak verbindet. Schon 1683 wies Claude Bourdelin nach, dass bei der Einwirkung lufthaltigen Wassers auf Eisen Ammoniak entstände.[1])

Es ist also das Zusammenwirken dreier Körper, des Wassers, des freien Sauerstoffs und der Kohlensäure erforderlich, um Rostbildung zu veranlassen; da aber alle drei in der atmosphärischen Luft regelmässig neben einander vorkommen, so ist jedem Eisen, welches nicht durch besondere Schutzmittel ihrer Einwirkung entzogen ist, ausreichende Gelegenheit zum Rosten gegeben. Fehlt einer der drei genannten Rostbildner, so vermögen auch die übrigen beiden nicht mehr einzuwirken. Calvert zeigte, dass auch im feuchten Sauerstoffgase, sofern es frei ist von irgend einer andern Säure, die Neigung des Eisens zum Rosten ganz unbedeutend ist.

Wohl aber kann die Kohlensäure durch andere Säuren, ja auch durch Lösungen gewisser Salze (Chloride des Magnesiums und der Alkalien u. a.) ersetzt werden; und der Vorgang bei der Einwirkung solcher säure- oder salzhaltigen Flüssigkeiten bei Luftzutritt auf das Eisen ist demnach ein dem gewöhnlichen Rosten ganz ähnlicher. Selbst Fette vermögen nur so lange einen Schutz des Eisens gegen das Rosten zu bilden, als sie nicht selbst durch äussere Einwirkungen theilweise in Fettsäuren umgewandelt worden sind.[2])

Die Widerstandsfähigkeit verschiedener Eisensorten gegenüber der Rostbildung wie der Einwirkung von Säuren überhaupt ist, wie die Erfahrung lehrt, ziemlich abweichend. Theils spricht die chemische Zusammensetzung des Eisens hierbei mit; theils auch die Structur und äussere Beschaffenheit desselben. Einzelne mit dem Eisen legirte Körper erschweren das Rosten, andere befördern es. Auch mechanisch eingemengte Körperchen, z. B. Schlacke, können, indem sie galvanische Ströme mit dem Eisen erzeugen, das Rosten befördern; eine eben solche Wirkung entsteht, wenn infolge einer Saigerung des erstarrenden Eisens sich abweichend zusammengesetzte Verbindungen neben einander ablagern. Auf solche Entstehung galvanischer Ströme hat man wohl nicht mit Unrecht theils das oft abweichende Verhalten scheinbar gleicher Eisensorten, theils die Thatsache zurückgeführt, dass doch auch an einzelnen Stellen solchen Eisens, welches in kohlensäure- und luftfreiem Wasser aufbewahrt wurde, im Laufe der Zeit mitunter Rostbildung sich zeigt.

Unter den verschiedenen Begleitern des Eisens wirken Silicium und gebundene Kohle entschieden günstig auf Verhinderung der Rostbildung und die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse überhaupt. Siliciumreiche Eisensorten sind auch durch starke Säuren oft nicht in Auflösung zu bringen.

Aehnlich wie diese, aber weniger deutlich, scheint Phosphor zu wirken.

Ein Graphitgehalt des Eisens wird, indem er durch mechanische Einlagerung das Gefüge des Eisens auflockert und den Angriff der

---

1) Dingler's Polyt. Journ., Bd. 196, S. 131.
2) Vergl. Literatur (Mercier).

chemisch thätigen Stoffe erleichtert, sowie in Rücksicht darauf, dass bei der Graphitbildung der Gehalt des Eisens an schützend wirkender gebundener Kohle sich verringert, an und für sich das Rosten befördern; da aber der Graphitgehalt nicht ohne einen gleichzeitigen Siliciumgehalt denkbar ist und dieser allen Beobachtungen zufolge noch kräftiger schützend als die von ihm verdrängte gebundene Kohle wirkt, so erklärt es sich, dass graphitreiche Eisensorten nicht selten dem Angriffe des Rostes wie der Säuren merklich besser widerstehen als graphitarme.

Mangan im schmiedbaren, also kohlenstoffarmen Eisen befördert allen Beobachtungen zufolge die Rostbildung; im Roheisen dagegen übt dasselbe, wenn auch vielleicht nur mittelbar, die entgegengesetzte Wirkung, indem es die Aufnahme grösserer Mengen gebundenen Kohlenstoffs erleichtert.

Schwefel dürfte in allen Fällen nachtheilig wirken; es ist eine Beobachtung der Praxis, dass schwefelhaltiges Eisen schon unter Einwirkung fliessenden Wassers im Laufe der Zeit einen Theil seines Schwefels verliert. Dieser Vorgang aber ist nur durch Wasserzersetzung möglich, wobei Eisen oxydirt wird.

Versuche, bei welchen verschiedene Eisensorten in ganz gleich grossen Würfeln und unter ganz gleichen Verhältnissen der Einwirkung sehr verdünnter Schwefelsäure 65 Stunden hindurch ausgesetzt wurden[1]), ergaben folgende Gewichtsverminderung des Eisens in Procenten des ursprünglichen Gewichts:

Spiegeleisen (mit ca. 10 Proc. Mangan, 4.5 Proc. gebundenem Kohlenstoff)	14.15 Proc.
Weisses kohlenstoffarmes Roheisen mit ca. 3 Proc. gebundenem Kohlenstoff, 0.7 Proc. Phosphor, übrigens rein	19.7 „
Dunkelgraues Koksroheisen mit ca. 2.5 Proc. Silicium, 1.5 Proc. Mangan, 3.5 Proc. Graphit, Spuren geb. Kohle, 0.8 Proc. Phosphor	27.6 „
Graues Holzkohlenroheisen mit ca. 1.8 Proc. Silicium, 1 Proc. Mangan, 3 Proc. Graphit, 0.5 Proc. geb. Kohle, 0.6 Proc. Phosphor	37.7 „
Englischer Werkzeugstahl mit ca. 1 Proc. Kohle, übrigens rein	66.5 „
Weiches Schmiedeeisen mit ca. 0.1 Proc. Kohle	88.6 „

Die Ziffern beweisen das oben Gesagte über den Einfluss der verschiedenen Begleiter des Eisens. Trotz seines hohen Mangangehaltes ist das Spiegeleisen chemischen Einwirkungen in verhältnissmässig sehr geringem Maasse unterworfen.

Wichtig sind die Versuche, welche mit verschiedenen Sorten schmiedbaren kohlenstoffarmen, zu Blechen verarbeiteten Eisens, durch W. Parker auf Veranlassung der englischen Gesellschaft Lloyds angestellt wurden.[2]) Diese Bleche wurden theils 437 Tage im Hafen zu Brighton im Meerwasser versenkt gehalten, theils 240 Tage unter dem Boden des Maschinenraumes eines Oceandampfers der Einwirkung der dort vorhandenen feuchten Luft unterworfen, theils 455 Tage lang auf einem Dache der Londoner City den Einflüssen der Atmosphärilien preisgegeben. Drei fernere Reihen derselben Bleche wurden zwischen

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 280.
2) Vergl. Literatur.

den Röhren des Wasserraumes von Marinedampfkesseln so aufgehängt, dass sie mindestens 30 cm unter der Wasserlinie blieben; und zwar befanden sich die Bleche einer dieser Reihen solcherart 361 Tage im Kessel eines Ostindienfahrers, in welchen zum Erschweren des Rostens Zink eingelegt wurde und welcher nur selten entleert wurde; die Bleche einer zweiten Reihe hingen in gleicher Weise 264 Tage hindurch im Kessel eines Chinadampfers, der, ohne Benutzung von Zink, an jeder Endstation abgeblasen und frisch mit Meerwasser gefüllt wurde; die letzte Reihe Bleche endlich reiste 336 Tage hindurch im Kessel eines Küstendampfers, welcher sein Speisewasser aus einem Theile des Flusses Tyne erhielt, welcher durch die Abflusswässer einer grossen chemischen Fabrik stark verunreinigt und angesäuert war. Die Kessel wurden in jeder zehnten Woche abgeblasen und blieben stets vier Tage während fünf unter Dampf.

Die spätere Untersuchung der Bleche ergab folgende Durchschnittsziffern für den Verlust durch Rost:

Eisensorten	Durchschnittliche Zusammensetzung der Eisensorten							Durchschnittlicher Gewichtsverlust durch Rost per Jahr und engl. Quadratfuss					
	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer	Mangan	Kobalt, Nickel	Im Meerwasser	Im Maschinenraume	In Londoner Luft	Im Dampfkessel des Ostindienfahrers	Im Dampfkessel des Chinadampfers	Im Dampfkessel des Küstenfahrers
2 Sorten gewöhnl. Puddeleisen	0.10	0.06	0.25	0.03	0.04	0.01	0.07	0.163	0.485	0.153	0.060	0.199	0.525
5 Sorten bestes Puddeleisen	0.11	0.11	0.11	0.01	0.02	0.01	0.01	0.195	0.526	0.166	0.067	0.194	0.633
4 Sorten weiches Flusseisen	0.15	0.02	0.06	0.06	Sp.	0.50	—	0.207	0.523	0.224	0.129	0.262	0.736

Das Flusseisen ist hier in fast allen Fällen das am stärksten angegriffene, ein Umstand, der sich auf seinen geringeren Phosphor- und höheren Mangangehalt zurückführen lässt.

Dass eine Berührung des Eisens durch Zink, welches hierbei zum elektropositiven Pole wird und bei der Wasserzersetzung sich mit dem Sauerstoffgehalte des Wassers vereinigt, das Eisen vor dem Rosten zu schützen vermag, ist bekannt, und man macht nicht selten hiervon Anwendung. Die Rostverluste der Bleche im Dampfkessel des Ostindienfahrers, bei welchen, wie erwähnt, Zink eingelegt worden war, sind deshalb auch trotz der längeren Zeitdauer der Einwirkung geringer als in den übrigen Kesseln. Umgekehrt wird die Neigung des Eisens zum Rosten verstärkt werden, wenn es mit Metallen in Berührung sich befindet, welche, wie Kupfer, Zinn, Blei, hierbei negativ elektrisch werden. Während daher ein mit Zink überzogenes Eisenstück auch dann noch dem Rosten verhältnissmässig wenig unterworfen ist, wenn an einzelnen Stellen Beschädigungen des Ueberzuges eingetreten sein sollten, schützt ein Zinnüberzug (wie er z. B. für Weissbleche ange-

wendet wird) nur so lange, als er vollständig dicht ist; bei eintretender Beschädigung desselben aber tritt verstärktes Rosten ein.

Die Oxydation in höherer Temperatur.

a. Im ungeschmolzenen Zustande des Eisens.

In gewöhnlicher Temperatur übt, wie schon erwähnt wurde, vollständig trockner Sauerstoff keinen Einfluss auf das Eisen aus. Eine Einwirkung wird erst bemerkbar, wenn die Temperatur auf etwa 200° C. oder etwas darüber steigt. Das Eisen, sofern es vorher an der Oberfläche metallisch rein war, überzieht sich mit einer hellgelben sogenannten Anlauffarbe, hervorgegangen aus der Entstehung eines sehr schwachen Häutchens oxydirten Eisens. Bei weiterer Steigerung der Temperatur wird die Anlauffarbe dunkler und durchläuft allmählich folgende Stufenreihe:

bei	220—230° C.	hellgelb,
„	240° C.	dunkelgelb,
„	255 „	gelbbraun,
„	265 „	braunroth,
„	275 „	purpurroth,
„	285 „	violet,
„	295 „	kornblumenblau,
„	315 „	hellblau,
„	330 „	grau.

Man benutzt in der Praxis diese Anlauffarben, um beim „Anlassen“ gehärteten Stahles, d. h. beim Erwärmen desselben zu dem Zwecke, ihm einen Theil seiner übermässigen Härte und Sprödigkeit zu nehmen, die einem bestimmten Härtegrade entsprechende Temperatur des Stahles zu erkennen.

Bei fernerer Steigerung der Temperatur bis zum Glühen unter Luftzutritt bildet sich an der Oberfläche des Eisens eine dicke Lage oxydirten Eisens, sogenannter Hammerschlag, seiner Zusammensetzung nach aus Eisenoxyduloxyd mit verschiedenem Sauerstoffgehalte bestehend. Zugleich beginnt aber, sofern das Glühen einige Zeit fortgesetzt wird, eine chemische Einwirkung des Sauerstoffs auch auf die Begleiter des Eisens sich bemerkbar zu machen. Gebundene Kohle wird zu Kohlenoxyd oxydirt und entweicht, das Eisen wird kohlenstoffärmer; und zwar erstreckt sich diese Einwirkung nicht allein auf die Oberfläche eines Eisenstückes, sondern bei ausreichend langer Zeitdauer der Einwirkung wandert auch der im Innern befindliche Kohlenstoff nach aussen, um hier verbrannt zu werden, ebenso, wie bei dem Glühen kohlenstoffarmen Eisens mit Kohle eine Wanderung von aussen nach innen stattfindet (S. 232).

Graphitischer Kohlenstoff wird hierbei nicht oder nur in unbedeutender Weise oxydirt.

Mangan und Silicium werden, da sie in dieser Temperatur noch leichter oxydirbar sind, als Eisen, höchstwahrscheinlich ebenfalls oxydirt; aber ihre Verbrennungsgebilde bleiben, da sie nicht flüchtig sind, in dem Eisen zurück, so lange dieses nicht etwa zum Schmelzen erhitzt wird. Die Verbrennung der Kohle wird durch einen Mangangehalt des Eisens erheblich erschwert.

Schwefel wird in merklicher Weise verflüchtigt.

Derselbe Vorgang, d. h. die Verbrennung gebundenen Kohlenstoffs beim Glühen, findet statt, wenn an Stelle freien Sauerstoffs Oxyde, welche in der betreffenden Temperatur Sauerstoff abgeben, mit dem Eisen in Berührung sind. Hierher gehören Eisenoxyd (welches sich dabei in Oxyduloxyd umwandelt), Zinkoxyd u. a. m. Man macht in der Praxis von diesem Verhalten des gebundenen Kohlenstoffs Anwendung, um weisses Roheisen durch Glühen in schmiedbares Eisen umzuwandeln (Glühfrischen; siehe Abtheilung III).

Findet eine längere Zeit hindurch fortgesetzte Einwirkung oxydirender Gase auf das Eisen statt, auch nachdem der gebundene Kohlenstoff verbrannt worden ist, so wird das Eisen selbst weiter und weiter oxydirt, das anfänglich entstehende Eisenoxyduloxyd wandelt sich in Eisenoxyd um, das Eisenstück schwillt auf und kann schliesslich vollständig oxydirt werden. Graphit aber wird auch hierbei in nur unvollkommener Weise verbrannt. Deutlich lässt sich dieser Vorgang an Eisentheilen erkennen, welche als ein Bestandtheil von Feuerungen Monate oder Jahre hindurch der Einwirkung einer Stichflamme, also eines Gemisches von Kohlensäure, Wasserdampf und freiem Sauerstoff neben Stickstoff und kleineren Mengen unverbrannter Gase ausgesetzt gewesen sind und sich dabei in sogenanntes Brandeisen umgewandelt haben. Eine von mir untersuchte Platte eines gusseisernen Stubenofens, welche jahrelang oberhalb der Feuerung gelegen und dabei vollständig — auch auf der Bruchfläche — die rothe Farbe des Eisenoxydes angenommen hatte, zeigte folgende Zusammensetzung:

Eisen	68.386
Mangan	0.023
Kupfer, Kobalt, Nickel	0.125
Silicium	1.240
Schwefel	0.079
Phosphor	0.269
Arsen	0.056
Graphit	0.960
Sauerstoff	28.899
	100.037.

b. Oxydation im flüssigen Zustande des Eisens.

Wirken freier Sauerstoff oder oxydirende Gase, beziehentlich auch geschmolzene sauerstoffabgebende Körper, auf Eisen im flüssigen Zustande ein, so werden neben einem Theile des Eisens selbst die fremden Begleiter desselben in der Reihenfolge oxydirt, welche durch die verschiedene Verwandtschaft derselben zum Sauerstoff gegeben ist, und theils durch Vergasung (Kohlenstoff), theils durch Verschlackung (Mangan, Eisen, Silicium, Phosphor) entfernt. Wurde Roheisen einer derartigen Einwirkung unterworfen, so verwandelt es sich infolge des Austretens seiner Begleiter in schmiedbares Eisen um. Dieser Vorgang, welcher die Grundlage für die Darstellung des grössten Theils alles schmiedbaren Eisens bildet, heisst Frischen oder Frischprocess.

Jene Reihenfolge der Oxydation der verschiedenen Körper aber ist

nicht immer die nämliche, sondern von verschiedenen Umständen abhängig.

Hierher gehört zunächst die Temperatur des geschmolzenen Eisens. Hohe Temperatur steigert zwar im Allgemeinen die Verwandtschaft der betreffenden Körper zum Sauerstoff; aber bei dem einen Körper im stärkeren Maasse als bei einem andern. Wie schon früher mehrfach erwähnt wurde, zeigt besonders der Kohlenstoff eine sehr kräftige Steigerung seiner Verwandtschaft zum Sauerstoff in hoher Temperatur und wird eben durch diese Eigenschaft befähigt, als Reductionsmittel für die Oxyde anderer Körper (Mangan, Silicium, Alkalien u. a.) zu dienen, deren Verwandtschaft nicht in dem gleichen Maasse bei der Erhitzung zunimmt. Aus demselben Grunde aber wird bei der Oxydation eines Eisens, welches Kohlenstoff, Silicium, Mangan u. s. w. enthält, die Verbrennung sich um so stärker auf den Kohlenstoffgehalt werfen und die übrigen Körper werden, so lange noch unverbrannter Kohlenstoff zugegen ist, um so mehr vor Verbrennung geschützt bleiben, je höher die Temperatur des Eisens ist. Hieraus erklärt es sich, dass in einer Temperatur, welche die Schmelztemperatur des gewöhnlichen Roheisens nicht erheblich übersteigt, mitunter fast der gesammte Silicium- und Mangangehalt des Eisens oxydirt werden kann, ehe überhaupt die Verbrennung des Kohlenstoffs beginnt, während in höherer Temperatur (Schmelztemperatur des schmiedbaren Eisens) der Rest des Siliciums und Mangans oft erst verbrannt werden kann, nachdem der Kohlenstoff annähernd vollständig entfernt worden ist.

Ausserdem ist die Gegenwart anderer Körper auf den Verlauf der Verbrennung von Einfluss, wie schon auf S. 14 erwähnt wurde. Durch Anwesenheit einer kieselsäurereichen Schlacke wird das Oxydationsbestreben solcher Bestandtheile des Eisens verstärkt, welche mit dem Sauerstoff basische Verbindungen bilden (Mangan, Eisen); die Verbrennung der Metalloide dagegen wird durch die Gegenwart basischer Körper befördert, mit denen sich ihre Oxydationserzeugnisse zu Silikaten, Phosphaten u. s. w. vereinigen können.

Aus diesem Grunde wird Phosphor bei Anwesenheit einer kieselsäurereichen Schlacke aus dem Eisen überhaupt nicht ausgeschieden; bei Anwesenheit basischer Schlacken erfolgt die Ausscheidung in niedriger Temperatur gleichzeitig mit der des Siliciums schon vor der Verbrennung des Kohlenstoffs; in sehr hoher Temperatur aber ist sie wegen des geschilderten Verhaltens des Kohlenstoffs erst möglich, nachdem dieser annähernd vollständig verbrannt ist, ja durch den Kohlenstoff des Eisens wird sogar aus einer phosphorsäurehaltigen Schlacke Phosphor reducirt und an das Eisen zurückgeführt, sofern die Temperatur hoch ist. Die verschiedenen Methoden zur Abscheidung des Phosphors beim Verfrischen des Roheisens beruhen auf diesem Verhalten desselben. Man scheidet ihn durch Oxydation bei Anwesenheit basischer Körper (Eisenoxydul, Manganoxydul, Kalkerde) entweder *vor dem Kohlenstoff in niedriger Temperatur* ab, oxydirt aber hierbei zugleich unvermeidlich den ganzen Siliciumgehalt des Eisens; oder man entfernt ihn *in hoher Temperatur nach dem Kohlenstoff* (basischer Bessemerprocess oder Thomasprocess), wobei Silicium, Mangan u. s. w. schon vor dem Phosphor neben dem Kohlenstoff abgeschieden werden.

Auch die Verbrennung des Kohlenstoffs wird durch Gegenwart kieselsäurereicher Schlacken verzögert, indem diese die Verwandtschaft des Eisens und Mangans zum Sauerstoff steigern.

Das Maass der Verdünnung, in welcher sich die einzelnen Begleiter des Eisens im Eisenbade befinden, ist ebenfalls von Einfluss auf den Verlauf ihrer Oxydation. Je stärker ihre Verdünnung oder, mit anderen Worten, je geringer ihr Procentgehalt im Eisen ist, desto schwieriger werden sie von den oxydirenden Einflüssen erreicht werden, desto langsamer wird ihre Ausscheidung verlaufen. In allem aus dem Roheisen technisch dargestellten schmiedbaren Eisen finden sich daher noch kleine Mengen von Kohlenstoff; und ihre Oxydation würde nur möglich sein, wenn man gleichzeitig eine sehr grosse Menge des Eisens ebenfalls oxydiren wollte. Es erklärt sich ferner hieraus, dass bei allen Frischprocessen schon beim Beginn der Oxydation auch ein Theil des in reichlicher Menge vorhandenen Eisengehaltes oxydirt wird; aber sofern noch andere leichter oxydirbare Körper zugegen sind, hört diese Eisenoxydation auf, sobald ein gewisser Basen-, beziehentlich Eisengehalt der entstehenden Schlacke erreicht ist, dessen Maass wiederum von der Temperatur und den Einflüssen derselben auf die Oxydirbarkeit jener anderen Körper, insbesondere des Kohlenstoffs, Siliciums und Mangans, abhängt. Je höher diese Temperatur ist, desto früher wird diese Grenze erreicht werden, d. h. desto eisenärmer wird die entstehende Schlacke sein, so lange noch gewisse Mengen jener anderen Körper im unoxydirten Zustande zugegen sind.

Endlich beeinflusst auch die Art und Weise der Einwirkung der oxydirenden Körper auf das geschmolzene Eisen die Reihenfolge wie die Zeitdauer der Oxydation. Bietet z. B. das Eisen nur seine Oberfläche der Einwirkung oxydirender Gase u. s. w. dar, so wird zweifellos der Process sehr verlangsamt werden; an der Oberfläche wird zwar Kohlenstoff verbrennen und eine eisenreiche Schlacke entstehen; aber in den unteren Schichten des Eisenbades wird sehr langsam eine Einwirkung erkennbar werden. Die Oxydation wird beschleunigt, wenn man entweder das geschmolzene Eisen in Tropfenform vertheilt und solcherart seine Oberfläche vergrössert (Herdfrischprocess); oder wenn man durch stetige Bewegung desselben seine Oberfläche ununterbrochen erneuert und solcherart die durch Oxydation zu entfernenden Begleiter des Eisens in ausgedehntere Berührung mit dem ursprünglichen Oxydationsmittel oder mit dem unter Einwirkung desselben entstandenen Eisenoxyd bringt (Puddelprocess); oder noch mehr, wenn man das Oxydationsmittel in Gasform (atmosphärische Luft) in reichlicher Vertheilung durch das Eisenbad hindurchleitet (Bessemerprocess).

Körper, welche aus ihren Oxyden erheblich leichter reducirbar sind als das Eisen, lassen sich aus der Legirung mit demselben auch nicht durch Oxydation abscheiden, ohne dass zuvor die grösste Menge des Eisens oxydirt wird. Hierher gehören K u p f e r, K o b a l t, N i c k e l. Sie begleiten deshalb das Eisen, sofern sie einmal von demselben aufgenommen sind, durch alle Verarbeitungsstadien hindurch; und da bei Oxydationsprocessen infolge der stattfindenden Abscheidung anderer Stoffe die Gesammtmenge des Metalls, in dem sie gelöst sind, sich ver-

ringert, so pflegt ihr Procentgehalt in dem Metalle sich bei jedem neuen Oxydationsprocesse, dem das Eisen unterworfen wird, zu erhöhen.

Schwefel wird, soweit die darüber angestellten Beobachtungen Schlüsse zulassen, bei ausreichend langer Zeitdauer des Oxydationsprocesses zum Theil zu schwefliger Säure verbrannt und als solche verflüchtigt; bei der sehr starken Verdünnung, in welcher der Schwefel im Eisenbade vorzukommen pflegt, ist der Erfolg jedoch nur gering. Bei Anwesenheit basischer, insbesondere manganhaltiger Schlacken pflegt ein anderer Theil des Schwefelgehaltes von diesen im nicht oxydirten Zustande (als Sulfid) aufgenommen zu werden, jedenfalls infolge der stärkeren Löslichkeit des Sulfids in der Schlacke als im Eisen; ein letzter und mitunter nicht unbeträchtlicher Theil des Schwefels aber pflegt bei dem Eisen zurückzubleiben.

Literatur.

A. Grössere Werke.

Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abtheilung 1, S. 1—266 (enthält ausführliche Mittheilungen über die bis zum Jahre 1864, grossentheils in Percy's Laboratorium, angestellten Versuche und wichtigeren älteren Theorieen über das metallurgisch-chemische Verhalten des Eisens).

J. Lowthian Bell, Ueber die Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen verschiedener Dimensionen. Frei übersetzt von P. Tunner, Leipzig 1870. (Enthält Mittheilungen über zahlreiche Versuche, die Reduction etc. der Eisenerze betreffend.)

C. Schinz, Documente betreffend den Hochofen. Berlin 1868, S. 64. (Reduction der Eisenerze.)

B. Abhandlungen.

J. L. Bell, The chemistry of the blast-furnace. Journal of the Chemical Society, Juni 1869; daraus in französischer Uebersetzung in der Rev. universelle, tome 28, p. 87.

J. L. Bell, Supplementary remarks on carbon impregnation by dissociation of carbonic oxide. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, p. 43.

M. L. Gruner, Mémoire sur le dédoublement de l'oxyde de carbone sous l'action combinée du fer métallique et des oxydes de ce métal. Annales de chimie et de physique, série IV, tome 26, p. 5.

M. L. Gruner, Études métallurgiques. Annales des mines, série VII, tome 15, p. 108. (Carbone ferrugineux; sulfures de potassium et de silicium sortant de l'avant-creuset des hauts-fourneaux; fonte écailleuse; fontes silicieuses; fonte avec divers métaux étrangers; etc.)

P. Tunner, Zur Beurtheilung des muthmaasslichen Achtelkarburets vom Eisen. Jahrb. der k. k. Bergakademieen zu Leoben etc. Bd. X (1861), S. 477.

P. Tunner, Aphorismen aus der Eisenhüttenkunde. Jahrb. der k. k. Bergakademieen zu Leoben etc. Bd. XXII (1874), S. 178.

R. Schöffel, Existirt ein Viertelkohleneisen? Jahrb. d. k. k. Bergakademieen zu Leoben etc. Bd. XXII (1874), S. 146.

Dr. Stammer, Ueber Reduction durch Kohlenoxyd, namentlich des Eisens. Poggend. Annalen, Bd. 82, S. 136; Dingler's Polyt. Journ. Bd. 120, S. 428.

J. G. Snelus, Ueber den Zustand, in welchem Kohlenstoff und Silicium im Eisen enthalten sind. Dingler's Polyt. Journ. Bd. 200, S. 25; aus Engineering 1870, S. 194.

W. Mrázek, Experimentelle Untersuchungen über Silicium und Mangan im Stahl. Jahrb. d. k. k. Bergakademieen zu Leoben etc. Bd. XX, S. 406.

R. Richter, Ueber das Vorkommen von krystallisirtem Silicium in einem Roheisen. Jahrb. der k. k. Bergakademieen zu Leoben etc. Bd. XI (1862), S. 289.

H. Hahn, Chemische Untersuchung der beim Lösen des Roheisens entstehenden Producte. Liebig's Annalen, Bd. 129, S. 57.

H. Morton, The condition, in which silicon exists in pig-iron. Journ. of the Iron and Steel Institute 1874, I, p. 102.

M. H. Caron, Études sur l'acier (Einflüsse des Mangans auf den Schwefel- und Phosphorgehalt des Eisens). Comptes rendus, tome 56, p. 828; daraus: Journal für praktische Chemie Bd. 89, S. 504; Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, S. 372; Dingler's Polyt. Journ. Bd. 168, S. 380.

H. Wedding, Der Einfluss des Mangans auf die Festigkeit des Eisens. Verhandl. d. Ver. zur Beförd. des Gewerbfleisses 1882, S. 509.

R. Åkerman, Ueber den Einfluss von Silicium, Schwefel, Phosphor und Mangan auf die Qualität des Eisens. Aus Iron ins Deutsche übertragen von J. v. Ehrenwerth. Ztschr. des berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1876, S. 71.

R. Åkerman, Die Beziehungen von Wolfram und Titan zum Eisen. Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1876, S. 326.

Wöhler, Sur la composition des cristaux titaniques, qui se rencontrent dans les hauts-fourneaux. Compt. rend., tome XXIX, p. 505; Dingl. Polyt. Journ., Bd. 115, S. 75.

Carl Freese, Ueber die Verbindungen des Eisens mit dem Phosphor. Poggend. Annalen, Bd. 132 (1867), S. 225.

G. H. Billings, Ueber die Eigenschaften der Verbindungen des Eisens mit anderen Metallen. Dingler's Polyt. Journ., Bd. 228, S. 427.

M. G. Rolland, Note sur l'acier chrome. Annales des mines, série VII, tome 13, p. 152.

A. Ledebur, Kohlenstoffausscheidung im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 277.

A. Ledebur, Ueber Schlacken (Entschweflung des Eisens). Ztschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1881, S. 55.

A. Ledebur, Ueber einige Legirungen des Eisens. Jahrbuch für Berg- nnd Hüttenwesen im Königreiche Sachsen für 1879, S. 106.

A. Ledebur, Ueber Giessereiroheisen (Oxydation des Mangan-, Silicium- und Kohlenstoffgehaltes desselben beim Schmelzen). Jahrb. für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen für 1880, S. 1.

A. Ledebur, Beiträge zur Metallurgie des Eisens. Glaser's Annalen, Bd. X, S. 179.

A. Ledebur, Sauerstoffbestimmung im schmiedbaren Eisen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 193.

A. Wasum, Ueber den Einfluss von Schwefel und Kupfer auf den Stahl beim Verarbeiten desselben in der Wärme. „Stahl und Eisen" 1882, S. 192.

M. L. Cailletet, Recherches sur les gaz contenus dans la fonte et l'acier à l'état de fusion. Comptes rendus t. LXI, p. 850; Dingler's Polyt. Journ., Bd. 179, S. 208.

J. Parry, On the reduction of pure anhydrous sesquioxyde of iron with pure carbon in vacuo. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, p. 251.

J. Parry, Gases evolved from pig-iron, steel, wrought-iron and coke on heating in vacuo. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, p. 238.

J. Parry, Gases occluded in the pig-iron, steel and wrought-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1873, p. 429.

J. Parry, The absorption of hydrogen by pig-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, p. 92.

L. Troost et P. Hautefeuille, Recherches sur la dissolution des gaz dans la fonte, l'acier et le fer. Comptes rendus, tome 76, p. 482 et 565; daraus: Polyt. Centralbl. 1873, S. 439; Dingler's Polyt. Journ., Bd. 208, S. 331.

L. Troost et P. Hautefeuille, Sur la dissolution de l'hydrogène dans les métaux et la décomposition de l'eau par le fer. Comptes rendus, tome 80, p. 788.

L. Troost et P. Hautefeuille, Sur les fontes manganésifères (Auflösung von Gasen in manganhaltigem Eisen). Comptes rendus, tome 80, p. 909; Polyt. Centralbl. 1875, S. 775.

F. C. G. Müller, Ueber die Ausscheidungen in Bessemergüssen. Ztschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1879, S. 494; Zeitschr d. berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, S. 427.

F. C. G. Müller, Ueber den Wasserstoff- und Stickstoffgehalt im Eisen und Stahl. Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 1881, S. 6; Ztschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, S. 74.

F. C. G. Müller, Ueber die Gasausscheidungen in Stahlgüssen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 531.

A. H. Allen, Further experiments on the existence of nitrogen in iron and steel. Iron, vol. XVI, p. 132.

P. C. Calvert, Sur l'oxydation du fer. Compt. rend., tome 70, p. 453; Dingl. Polyt. Journal, Bd. 196, S. 129.

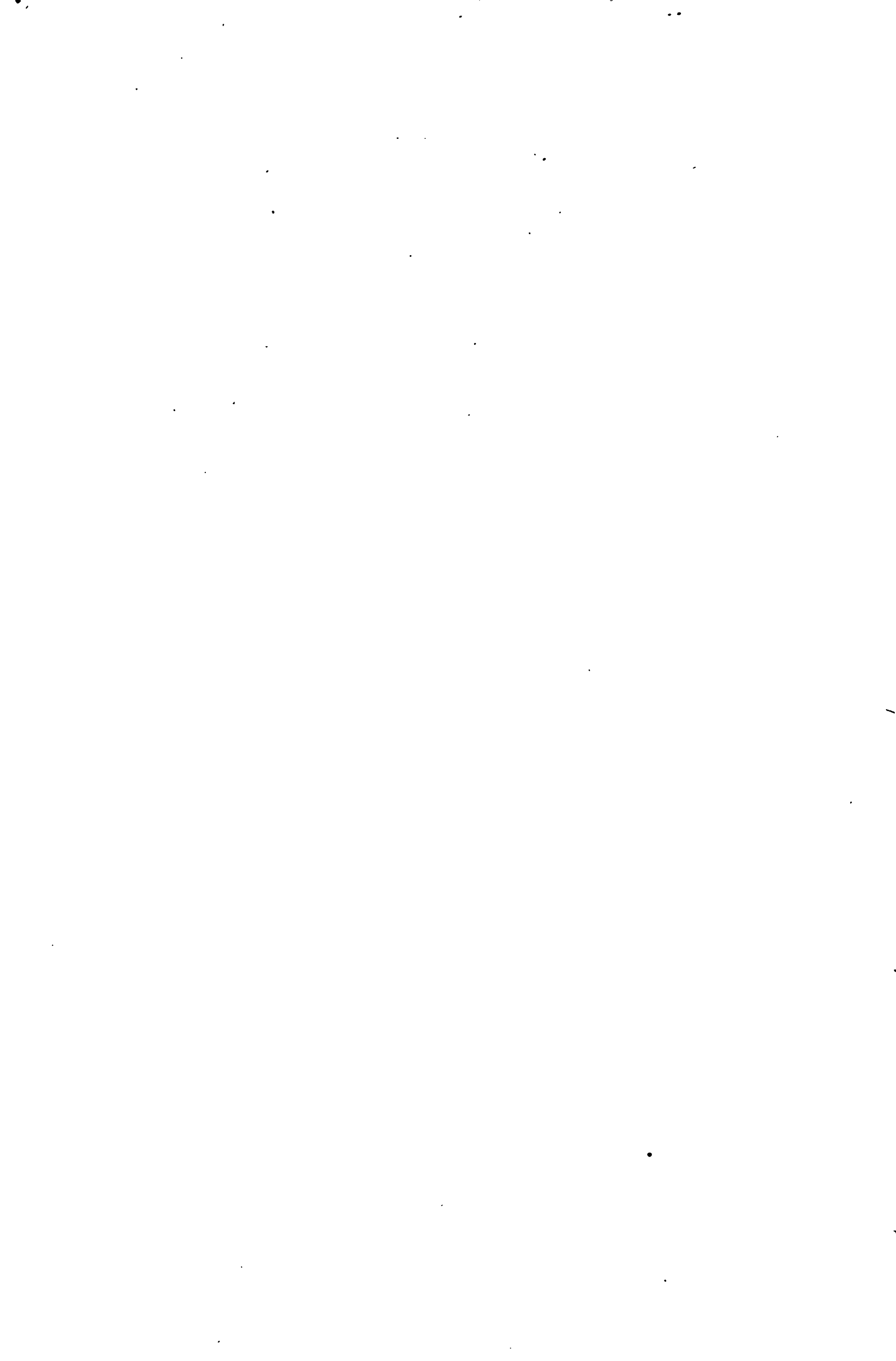
A. Wagner, Ueber den Einfluss verschiedener Lösungen auf das Rosten des Eisens. Dingl. Polyt. Journ., Bd. 218, S. 70.

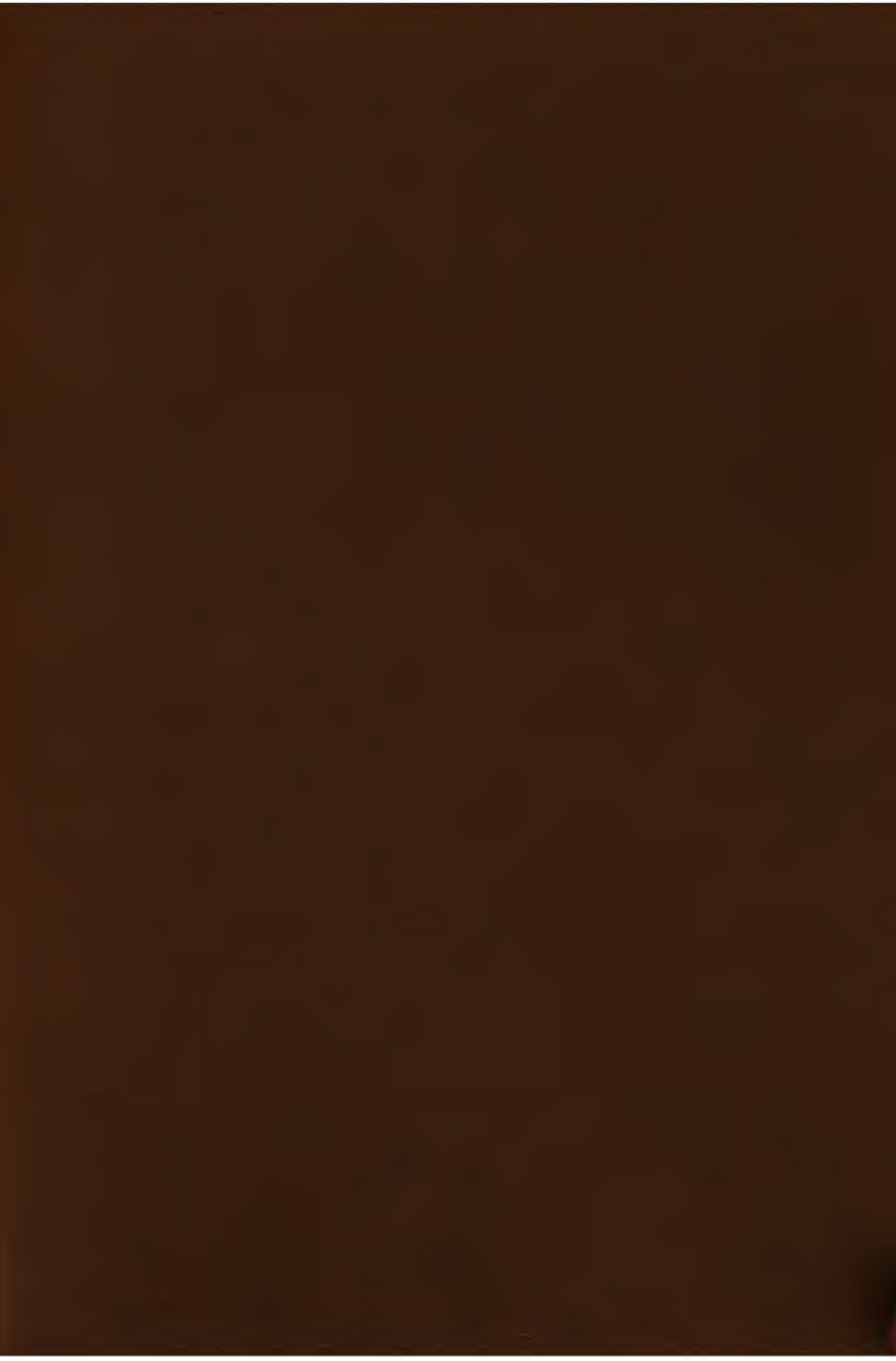
W. Parker, The relative corrosion of iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute, tome I, p. 39; Iron, vol. 17, p. 331.

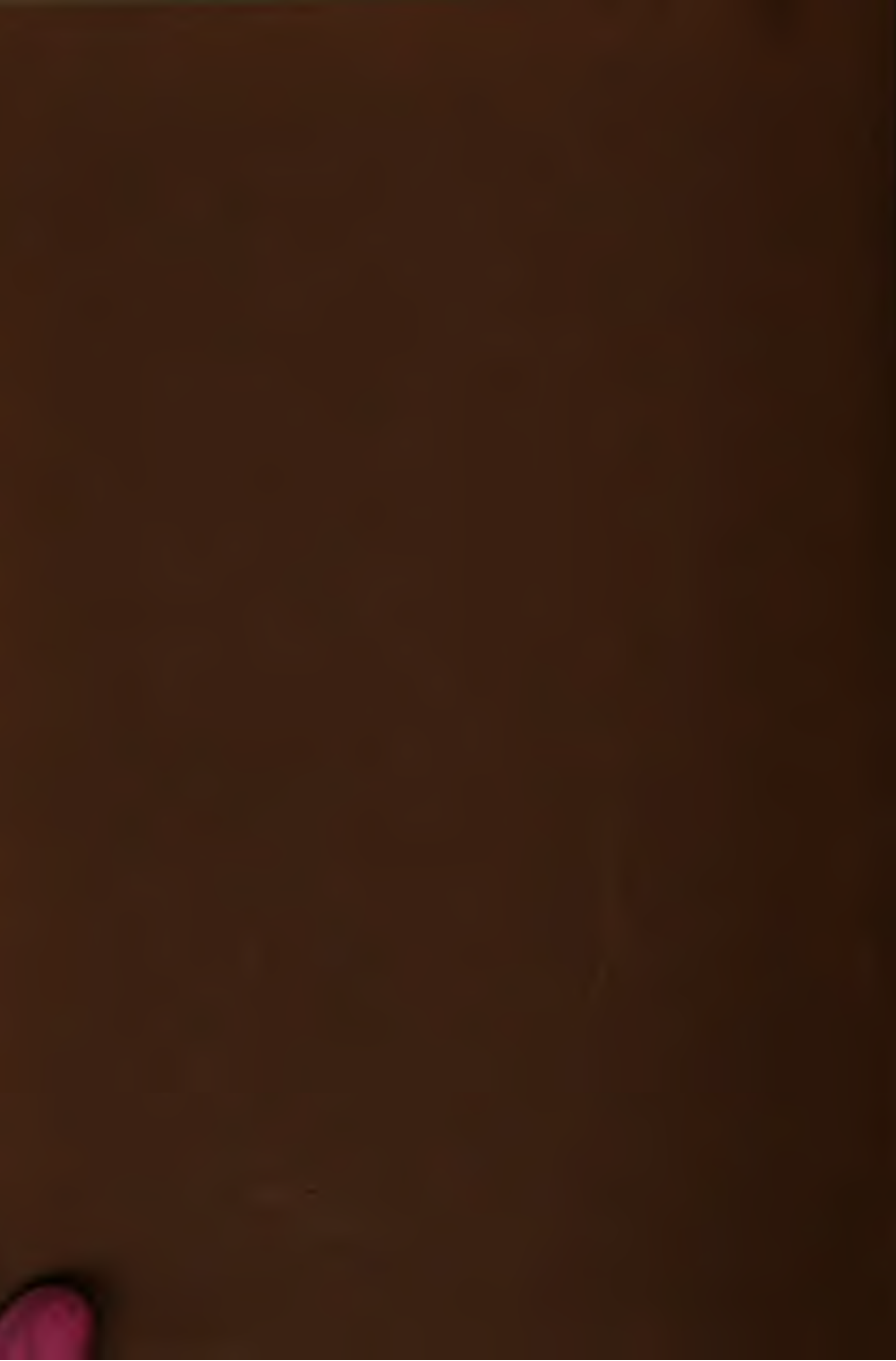
A. Mercier, Note sur l'altération du fer et de la fonte par les matières grasses dans les organes des machines soumis à l'action de la vapeur. Annales des mines, série VII, tome 15, p. 234.

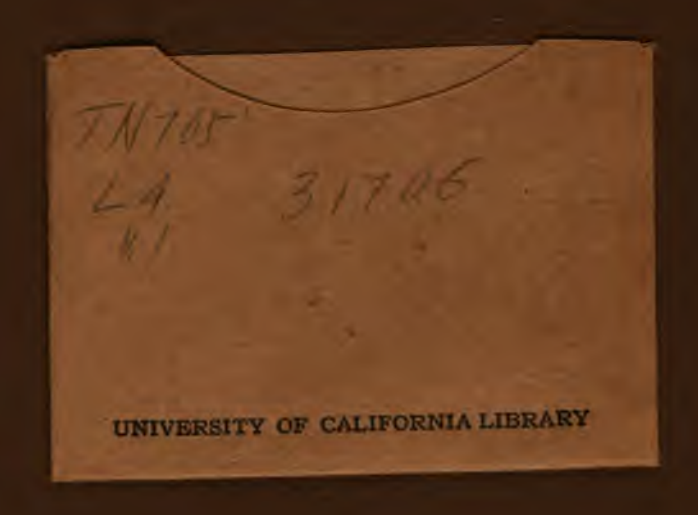
R. Åkerman, Ueber das Rosten des Eisens. „Stahl und Eisen" 1882, S. 417; aus Jern-Kontorets Annaler 1882, Nr. 3.










TN705
LA 31706
41
UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY



